

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

ББК 34.9
Е92
УДК 681.2

Рецензенты:
канд. техн. наук Л. Г. Рытиков,
канд. техн. наук В. А. Горшков

Ефремов А. А., Сальников Ю. В.

Е92 Изготовление и контроль оптических деталей: Учеб. пособие для средних проф.-техн. училищ. — М.: Высш. шк., 1983. — 255 с., ил. — (Профтехобразование. Приборостроение).

В пер.: 60 к.

Приведены основные сведения об изготовлении оптических деталей, свойствах стекла, обрабатывающих и вспомогательных материалах; рассмотрены станки, инструменты и технологическая оснастка для обработки деталей; описан технологический процесс обработки; даны краткие сведения о механизации и автоматизации процессов оптического производства; изложены методы технического контроля.

Е **2706000000—492**
052(01)—83 **50—83**

ББК 34.9
6П5.9

© Издательство «Высшая школа», 1983

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие оптического производства вызвало существенное совершенствование оптической технологии, оборудования и материалов. За последнее десятилетие почти полностью сменился парк оптических станков, появились отечественные и зарубежные поточные линии, возрос уровень механизации и автоматизации. Успехи в производстве синтетических алмазов повлекли за собой широкое применение различных алмазных инструментов на всех этапах технологического процесса. Повышение требований к качеству оптических деталей и расширение номенклатуры выпуска оптических приборов привело к созданию принципиально новых технологических процессов, приборов контроля и оснастки. Приборы новейшей техники, астрономическая оптика требуют все большего применения оптических деталей с асферическими поверхностями, производство которых только начинает развиваться. Развитие лазерной и инфракрасной техники связано с оснащением промышленности высокопроизводительными и универсальными вакуумными установками, производством зеркал резонаторов, интерференционных светофильтров. В настоящее время все шире применяют оптические детали из кристаллов, полимеров, металлов и волоконно-оптические изделия.

Для быстро развивающегося оптического производства необходимы кадры технически подготовленных рабочих — оптиков и контролеров. Достижению этой цели наиболее полно соответствует система профессионально-технического образования — основная школа подготовки в нашей стране квалифицированных рабочих кадров для народного хозяйства, подлинная школа коммунистического воспитания и трудового мастерства. Система профессионально-технического образования решает вопросы подготовки всесторонне образованных молодых рабочих, обладающих глубокими знаниями, прочными профессиональными навыками и широким политехническим кругозором.

Учебное пособие написано в соответствии с учебным планом и программой для подготовки молодых рабочих в средних ПТУ по профессиям оптик широкого профиля и контролер оптических деталей. В нем отражены все разделы программы специальной технологии. С учетом современного состояния и ближайшей перспективы развития оптического производства добавлены разделы по изготовлению волоконной оптики и деталей с асферическими поверхностями.

Книга имеет целью дать учащимся средних ПТУ научные основы современной техники и технологии оптического производства, а также привить учащимся практические навыки для сознательного и глубокого овладения ими своей профессией.

II. ОПТИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ И МАТЕРИАЛЫ

1. СВЕДЕНИЯ ОБ ОПТИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

1.1. Оптические детали

Сведения из геометрической оптики. Оптической деталью называют изделие, изготовленное без применения сборочных операций из однородного материала, который преломляет или зеркально отражает свет. Материал оптической детали, через который проходит свет, должен быть прозрачным, т. е. не поглощать проходящий свет. Если материал оптической детали только отражает свет, то он может быть и непрозрачным.

Основной характеристикой светового (оптического) излучения является длина волны. Световые волны составляют часть спектра электромагнитных волн, в который входят радиоволны, волны оптического и гамма-излучений. Длину световых волн выражают в нанометрах (нм) и микрометрах (мкм). Оптическое (световое) излучение условно делят на четыре области со следующими длинами волн: рентгеновскую — от 0,004 до 10 нм, ультрафиолетовую — от 10 до 380 нм, видимую — от 380 до 770 нм и инфракрасную — от 0,77 мкм до 1 мм.

Взаимодействие светового излучения с оптическими деталями показывают с помощью лучей. Лучом называют линию, вдоль которой распространяются световые волны. В геометрической оптике считается, что световые лучи — всегда прямые линии.

Все тела, которые создают световые излучения, называют источниками света. В геометрической оптике рассматриваются светящиеся точки (точечные источники), которые в совокупности образуют реальный источник света. При этом не делается различия между самосветящейся точкой, являющейся частицей тела источника света, и частицей предмета, освещенного посторонним источником света.

Световые лучи, идущие от светящейся точки, образуют пучок лучей с центром в этой точке. Такой пучок лучей называют гомотентрическим. В оптический прибор поступают пучки лучей (рис. 1.1), которые могут быть расходящимися (а), сходящимися (б) и параллельными (в).

Луч света при падении на полированную поверхность оптической детали изменяет свое направление и разделяется на два луча. Один из лучей отражается от поверхности, а другой, преломляясь, проходит внутрь оптической детали. Все эти лучи лежат в одной плоскости (рис. 1.2).

Угол между падающим лучом и перпендикуляром к поверхно-

сти называют углом падения i_1 . Угол между отраженным лучом и перпендикуляром — углом отражения i_2 . Угол отражения i_2 всегда равен углу падения i_1 . Падающий и отраженный лучи обратимы: если падающий луч направить по пути отраженного луча, то отраженный луч пойдет по пути падающего.

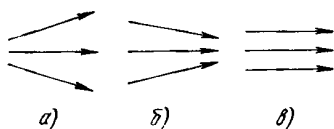


Рис. 1.1. Световые лучи

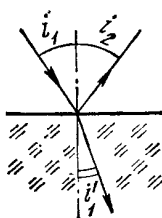


Рис. 1.2. Разделение света

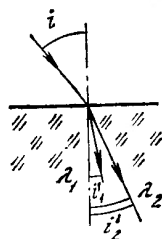


Рис. 1.3. Дисперсия света

Прошедший луч изменяет свое направление по сравнению с падающим, т. е. преломляется. Угол между преломленным лучом и перпендикуляром к поверхности раздела называют углом преломления i'_1 . Луч будет преломляться в случае перехода из одной прозрачной среды в другую, например из воздуха в стекло.

Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для данных двух сред есть величина постоянная и называется показателем преломления: $\sin i_1 / \sin i'_1 = n$.

Если луч в оптическую среду попадает из вакуума, то показатель преломления называют абсолютным. Абсолютный показатель преломления воздуха принимается равным единице. Все оптические материалы (стекло, кристаллы) имеют показатель преломления больше единицы: стекло 1,5—2,05; алмаз 2,24 и т. д. Поэтому угол преломления i'_1 при переходе луча из воздуха в оптическую среду всегда меньше угла падения i_1 .

Показатель преломления оптических сред зависит от длины волны проходящего света, следовательно (рис. 1.3), угол преломления для разных длин волн будет различным. Для красного цвета с длиной волны λ_1 угол преломления будет i'_1 , а для фиолетового с длиной волны λ_2 — i'_2 . Белый свет, являющийся совокупностью разных цветов, после преломления разлагается на составные части (цвета радуги). Это явление называют дисперсией света.

У оптической детали разделяют исполнительные (рабочие) поверхности, через которые проходят лучи света, и вспомогательные (нерабочие) поверхности, служащие для крепления детали в приборе. Исполнительные поверхности чаще всего полированные, имеющие шероховатость по R_z менее 0,1 мкм. Это приводит к тому, что часть падающего светового потока проходит через такую поверхность без рассеяния, а другая часть его отражается. Вспо-

могательные поверхности имеют шероховатость по $Ra=1,5-3$ мкм, величина которой определяется допусками на размеры оптической детали. Ниже рассмотрены основные виды оптических деталей в зависимости от их назначения.

Линзы. Самой распространенной оптической деталью является линза (от немецкого слова «линзе» — чечевица). Линзой называют оптическую деталь, ограниченную двумя преломляющими поверхностями 1 и 2 (рис. 1.4), одна из которых может быть плоской.

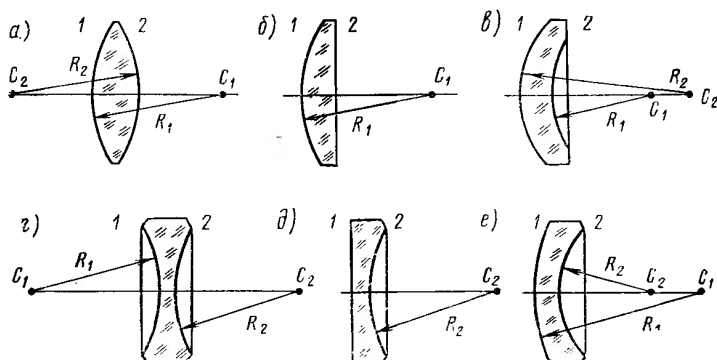


Рис. 1.4. Виды линз

В большинстве случаев линзы ограничены сферическими поверхностями. Линзы могут быть следующих видов: а — двояковыпуклая, б — плосковыпуклая, в — мениск положительный (толщина в центре линзы больше, чем на краю), г — двояковогнутая, д — плосковогнутая, е — мениск отрицательный (толщина линзы в центре меньше, чем на краю). Линзы видов а, б, в (см. рис. 1.4) называют положительными или собирающими. У них толщина в центре больше, чем на краю. Линзы видов г, д, е называют отрицательными или рассеивающими. У них толщина в центре меньше, чем на краю.

Линза ограничена также нерабочей цилиндрической поверхностью, ось которой является геометрической осью линзы. Прямую, соединяющую центры C_1 и C_2 сферических поверхностей линзы (см. рис. 1.4), или перпендикуляр, опущенный из центра C_1 сферы на плоскую поверхность линзы называют оптической осью линзы. Световой луч, проходящий через линзу по оптической оси, не преломляется. Линзу, у которой оптическая и геометрическая оси не совпадают, называют нецентрированной.

Положительная линза собирает падающие на нее параллельные лучи света в одну точку (рис. 1.5, а). Эта точка лежит на оптической оси и называется главным фокусом линзы F' . Отрицательная линза рассеивает падающие на нее параллельные лучи (рис. 1.5, б). Если рассеянные линзой лучи продолжить в противоположном направлении, то они сойдутся в фокусе линзы F' .

У положительных линз главный фокус действительный, а у отрицательных — мнимый, так как в нем пересекаются продолжения лучей, а не сами лучи.

Положение главного фокуса относительно линзы оказывает существенное влияние на характер получаемого с помощью линзы изображения и принимается за одну из важнейших характеристик линзы.

Величину, характеризующую оптические свойства линзы и равную обратному значению главного фокусного расстояния f' , назы-

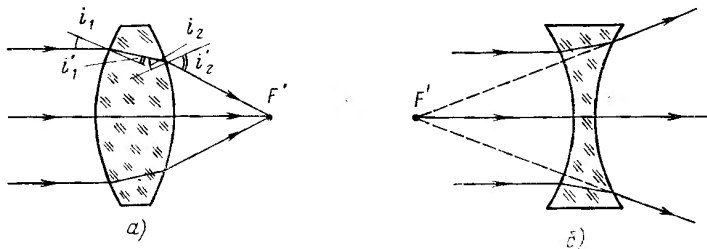


Рис. 1.5. Ход лучей в линзах

вают оптической силой линзы $D=1/f'$. Единица измерения оптической силы — диоптрия, которая будет у линзы, имеющей главное фокусное расстояние, равное одному метру. Оптическая сила собирающей линзы положительна, а рассеивающей — отрицательна.

Оптическая сила линзы определяется радиусами кривизны ее сферических поверхностей R_1, R_2 и показателем преломления материала линзы n : $D \approx (n-1)(1/R_1 + 1/R_2)$. Для выпуклых поверхностей величина радиуса берется со знаком «+», а для вогнутых со знаком «-». Для плоских поверхностей $R=\infty$.

Растр. Оптическую деталь, состоящую из большого числа малых линзовых или зеркальных элементов, имеющих оптическую силу, называют растром. Применение растров в оптических системах привело к созданию разнообразных оптических приборов с совершенно новыми характеристиками. Известны растровые окуляры, объективы, телескопические системы. Простейшей растровой оптической системой, фокусирующей лучи, является линза Френеля, состоящая из кольцевых преломляющих участков.

Пластины. Пластиной называют оптическую деталь, ограниченную двумя плоскими и параллельными друг другу поверхностями. Пластины применяют в оптических приборах в качестве защитных, покровных и выравнивающих стекол. Пластины из цветных стекол, а также из стекол, имеющих специальные покрытия, используют в качестве светофильтров — деталей, которые пропускают только свет определенной длины волны.

Если на пластину нанесены штрихи (линии соответствующей формы, цифры или условные знаки), то такую пластину называют сеткой, шкалой или мирой. Их используют для измерения линей-

ных и угловых величин, а также в процессе наблюдения объектов через приборы. Пластины имеют круглую, прямоугольную или любую другую форму.

Зеркала. Зеркалом называют оптическую деталь, ограниченную одной отражающей поверхностью. Эта поверхность может быть плоской, сферической и асферической, т. е. отличающейся от сферы. Зеркало может быть с наружным (рис. 1.6, а) и внутренним отражением (рис. 1.6, б). В первом случае луч не проходит

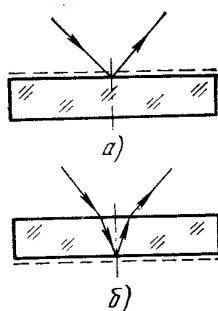


Рис. 1.6. Плоские зеркала

через материал зеркала — наружное отражение света; во втором — луч проходит через материал зеркала, поэтому поверхность, проводящая луч, должна быть полированной. В первом случае материал может быть как прозрачным, так и непрозрачным; во втором только прозрачным. На прозрачные материалы для улучшения отражения света наносят зеркальные покрытия (на рис. 1.6 показаны штриховой линией). Эти покрытия представляют собой тонкие слои металлов или диэлектриков.

Призмы. Призмой называют оптическую деталь с плоскими преломляющими и отражающими поверхностями, образующими между собой двугранные углы. Если угол между преломляющими поверхностями составляет менее 5° , то такую оптическую деталь называют клином.

Призмы разделяют на преломляющие, предназначенные для разложения (дисперсии) света, и отражательные — для изменения направления оптической оси прибора, оборачивания изображения и разделения пучков лучей.

Отражательные призмы обозначают двумя буквами и числом градусов в угле, на который отклоняется луч после прохождения призмы. Первая буква указывает число отражающих граней: А — одну, Б — две, В — три. Вторая буква характеризует геометрию призмы: Р — равнобедренная, П — пента, С — ромбическая. «Крышу» условно считают за одну грань и обозначают буквой «к» после первой буквы.

Прямоугольная призма с одной отражающей гранью АР-90 (рис. 1.7, а) изменяет направление хода лучей на 90° и дает зеркальное изображение предмета. На рис. 1.7 стрелочками показано положение предмета и его изображение. Прямоугольная призма с двумя отражающими гранями БР-180 (рис. 1.7, б) изменяет направление хода лучей на 180° , сохраняя вид изображения. Призма-ромб из двух параллельных преломляющих и двух параллельных отражающих граней БС-0 (рис. 1.7, в) не изменяет вида изображения и сохраняет направление хода лучей, но смещает при этом оптическую ось системы. Призма Дове, или призма прямого видения из двух преломляющих и одной отражающей граней АР-0 (рис. 1.7, г), дает зеркальное изображение предмета без изменения

хода лучей. Прямоугольная призма с одной отражающей гранью «крышей» (гипотенузная грань заменена двумя гранями — «крышей» с прямым углом между ними) АкР-90 (рис. 1.7, δ) изменяет направление хода лучей на 90° и полностью оборачивает изображение — сверху вниз и слева направо. Пентапризма БП-90 (рис. 1.7, ϵ) изменяет ход лучей на 90° и дает прямое изображение. Отражающие грани имеют зеркальное покрытие, так как углы падения на них меньше угла полного внутреннего отражения.

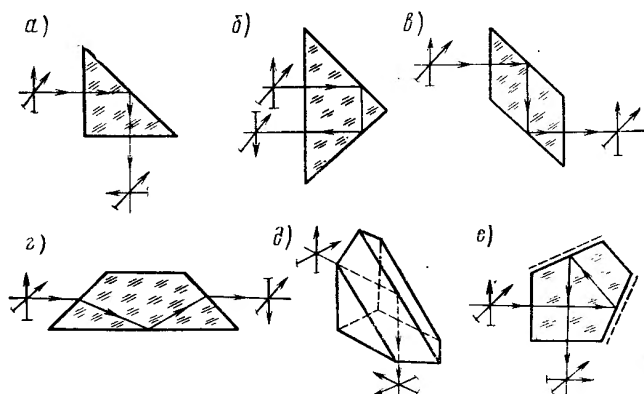


Рис. 1.7. Типы призм

Принцип действия большинства призм основан на явлении полного внутреннего отражения. На границе двух сред свет, падающий под углом i_1 , частично отражается под углом i_2 и частично проходит в другую среду с преломлением под углом i'_1 (рис. 1.8).

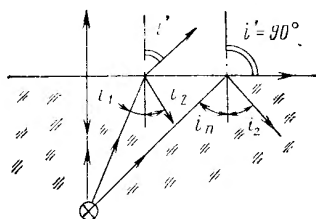


Рис. 1.8. Полное внутреннее отражение

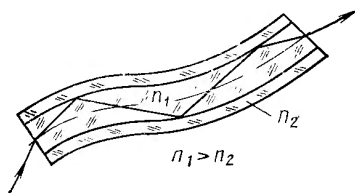


Рис. 1.9. Оптический световод

При некотором угле падения i_n угол преломления становится равным $i'_1 = 90^\circ$, т. е. луч не проходит во вторую среду. Такое явление, при котором свет, падающий на поверхность раздела двух прозрачных сред из оптически более плотной среды, полностью отражается от этой поверхности, называют полным внутренним

отражением. Угол падения i_1 , при котором угол преломления $i'_1 = 90^\circ$, называют предельным углом i_n .

Из определения показателя преломления $n = \sin i_n / \sin i'_1$ находим, что при $\sin i'_1 = 1$ $\sin i_n = 1/n$.

Для оптического стекла, у которого n больше 1,45, предельный угол падения не больше 42° .

На явлении полного внутреннего отражения основан принцип действия отражательных призм для изменения направления световых лучей, а также деталей волоконной оптики — жгутов, шайб, фоконов. В этих оптических деталях используют световоды (рис. 1.9), которые состоят из центрального волокна-жилы диаметром от 5 до 100 мкм и оболочки толщиной 0,5—4 мкм. Луч света, проходя по волокну, не выходит наружу из-за полного внутреннего отражения. Для этого материал жилы имеет больший показатель преломления, чем оболочки ($n_1 > n_2$). Отдельные световоды круглого или шестигранного сечения соединяют вместе обычно спеканием по всей длине или по концам.

1.2. Оптические материалы

Оптические стекла. Наиболее распространенным материалом оптических деталей является бесцветное стекло, которое отличается высокой прозрачностью для видимой области спектра, большой твердостью и прочностью. Оптическая промышленность выпускает в настоящее время 16 типов бесцветного оптического стекла, отличающихся по показателю преломления n_d и средней дисперсии (см. 2, 2.1). Различные марки стекла необходимы для создания сложных оптических систем, состоящих из нескольких деталей и не имеющих погрешностей (аббераций). Например, двухлинзовый объектив делают из кроновой положительной линзы и флинтовой отрицательной. Такое сочетание материалов устраняет хроматизм, т. е. окрашивание изображения, даваемое этим объективом.

Оптическое цветное стекло в зависимости от окраски выпускают 14 типов. Цветное оптическое стекло предназначено для изготовления светофильтров и имеет избирательное пропускание излучений в видимом, ультрафиолетовом или инфракрасном участках спектра. Цвет стекла (его цветовой тон и насыщенность окраски) определяется химическим составом красителей, добавляемых в стекло, режимом его варки и термической обработкой. Обозначение марки такого стекла складывается из букв, определяющих его тип, и цифр, характеризующих интенсивность окраски. Например: УФС6 — темное ультрафиолетовое стекло, ФС6 — фиолетовое, СС4 — синее, СЗС7 — сине-зеленое, ЗС11 — зеленое, ЖЗС12 — желто-зеленое, ЖС17 — желтое, ОС5 — оранжевое, КС15 — красное, ИКС6 — темное инфракрасное, ПС13 — пурпурное, НС8 — нейтральное, ТС10 — темное и БС14 — бесцветное инфракрасное стекло.

Кроме перечисленных бесцветных и цветных стекол в качестве

оптических материалов применяют различные специальные стекла. Кварцевое оптическое стекло, состоящее из химически чистой двуокиси кремния, обладает повышенной твердостью, малым коэффициентом линейного расширения (незначительно изменяет линейные размеры при нагревании) и хорошей химической устойчивостью; имеет три марки (КУ, КВ, КИ), применяемые соответственно для ультрафиолетового, видимого и инфракрасного областей спектра.

Органическое стекло представляет собой пластмассу (метилметакрилат, полистирол), применяют для ответственных оптических деталей. Оно имеет незначительную стоимость и небольшую плотность, легко обрабатывается и менее хрупко, чем стекло. Однако оргстекло недостаточно твердо, легко царапается, с течением времени и перепадом температур сильно изменяет размеры и оптические свойства.

В настоящее время широко применяют ситаллы — стекла, в которых при специальной термообработке образуются мелкие кристаллы размером до 5 мкм. Ситаллы имеют очень малый коэффициент линейного расширения (он может быть равным нулю и отрицательным, т. е. при нагревании ситалла размеры его уменьшаются), высокую твердость, износостойкость и термостойкость. Имеются разнообразные fotocувствительные ситаллы, которые меняют свои свойства под действием светового излучения. Например, фотохромные стекла, применяемые для очковых линз, темнеют под действием яркого света, а в темном помещении опять становятся прозрачными.

Кристаллы. Особое место среди оптических материалов занимают кристаллы, которые в отличие от стекла имеют высокую прозрачность в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра, более широкий диапазон показателей преломления и дисперсии, а также ряд особых физических и оптических свойств. Например, исландский шпат (кальцит) обладает сильным двойным лучепреломлением, применяют в поляризационных приборах.

Кристаллический кварц (горный хрусталь) имеет высокую прозрачность в области длин волн от 0,18 до 10 мкм, вращает плоскость поляризации и обладает пьезоэффектом — способностью электризоваться под действием механических нагрузок.

Флюорит в паре со фтористым литием дают очень хорошие оптические системы для ультрафиолетовой, а каменная соль — для инфракрасной областей спектра.

Германий и кремний в видимой области спектра полностью не прозрачны, их применяют только для инфракрасной области спектра.

Все перечисленные оптические материалы применяют для изготовления оптических деталей, работающих в проходящем свете.

Металлы. Для зеркал кроме указанных материалов применяют сталь, алюминиевые, медные и другие сплавы в зависимости от условий эксплуатации и конструкции оптического прибора.

1.3. Организация труда в цехе

В соответствии с назначением операций, выполняемых при изготовлении оптических деталей, цех разделяют на производственные участки — основные и вспомогательные.

На основных участках обрабатывают оптические заготовки и детали, производят их механическую обработку, нанесение покрытий, склейку и т. п. На вспомогательных участках выполняют работы, связанные с приготовлением и регенерацией абразивных материалов, варкой смол, промывкой оптических деталей, их блокировкой и т. д. На вспомогательных участках расположена и химическая лаборатория, где готовят растворы для покрытий и оптические клеи.

Контроль особо точных и сложных оптических деталей производят на специальных приборах в оптической лаборатории. Контроль готовой продукции выполняют контролеры отдела технического контроля (ОТК).

Наиболее распространена на производственных участках цеха бригадная форма организации труда. Бригада выполняет операции по изготовлению оптических деталей на закрепленных за ней рабочих местах. Все члены бригады несут ответственность за качество изготавливаемых деталей и выполнение плановых заданий. В состав бригады могут входить рабочие различных профессий и разной квалификации, выполняющие свое производственное задание вплоть до сдачи полуфабрикатов или готовых деталей на контроль.

Для оптических цехов характерна максимально возможная чистота помещений. Это обеспечивается приточно-вытяжной вентиляцией с пылеулавливающими фильтрами, принудительным увлажнением воздуха, частой уборкой помещения и мытьем оборудования и полов.

В атмосфере рабочих зон, где выполняют склейку деталей, посадку их на оптический контакт, изготовление высокоточных оптических поверхностей, не допускается содержание более 50 шт. пылинок размером до 1 мкм в 1 л воздуха. Обеспыливание обеспечивается герметизацией помещения и устройством шлюзовых обдуваемых дверей, специальной внутренней отделкой стен, потолков и полов, фильтрацией подаваемого воздуха, применением изолированных рабочих мест (скафандров), влажной уборкой помещения.

Оптические цехи должны быть оборудованы системой обменной вентиляции, поддерживающей температуру внутри цеха в пределах 20—22°С независимо от температуры окружающей среды. При этом не допускается сильная конвекция потоков воздуха, особенно на участках обработки и контроля точных оптических деталей.

Участки заготовки, склейки, приготовления и регенерации абразивных материалов необходимо располагать в отдельных непроходных помещениях цеха во избежание переноса крупных абра-

живных частиц, пыли и грязи на участки окончательной обработки оптических деталей.

1.4. Безопасность труда и производственная санитария

Рациональная организация труда в оптическом цехе должна сочетаться со строгим выполнением правил техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной безопасности.

Рабочие места и проходы на участках должны быть свободны от загромождения их тарой, ящиками с деталями и заготовками.

Все оборудование должно быть заземлено и иметь ограждения подвижных частей, чтобы исключить возможность травмирования. Осветительная аппаратура должна подключаться к напряжению 36 В.

На участках промывки имеется большое количество легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), поэтому стены и пол этого помещения необходимо покрывать асбестовыми и железными листами, устанавливать на каждом рабочем месте мощную приточно-вытяжную вентиляцию, применять взрывобезопасное освещение, категорически запрещается курить и входить в эти помещения посторонним лицам. На участках промывки должны быть установлены пожарная сигнализация и средства автоматического тушения огня.

Участки полирования необходимо оборудовать устройствами кондиционирования воздуха. На оборудовании, в котором используется сжатый воздух, должны быть установлены предохранительные устройства, блокирующие внезапные удары и зажимы.

На участках склейки к работе с эпоксидными смолами допускаются только лица, прошедшие специальную медицинскую комиссию и отобранные по результатам проверки после испытательного срока.

На оборудовании заготовительных операций, работающем с алмазным инструментом, должны быть установлены защитные ограждения, предотвращающие разбрызгивание смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). При ручном грубом шлифовании рабочим необходимо выдавать ланолиновый крем для защиты кожи рук от разъедания абразивно-стекольным шламом.

На участках покрытий работы с едкими щелочами и кислотами необходимо проводить в резиновых перчатках. Ртутные насосы и вакуумметры должны повсеместно заменяться на безопасное оборудование. Там, где ртутные насосы и вакуумметры еще применяются, необходимо проводить тщательный и регулярный контроль за отсутствием в атмосфере помещения вредных паров ртути.

Для приготовления наклеечных смол используют каменноугольный пек, тальк, выделяющие при нагревании летучие ароматические вещества, вредные для человеческого организма. Пары промывочных жидкостей (эфира, ацетона и др.) в определенных концентрациях также токсичны. Предельная допустимая концентрация вредных паров в атмосфере рабочей зоны не должна превышать для ацетона 0,2 мг/л, для эфира и бензина 0,3 мг/л.

Работы по приготовлению смол и с промывочными жидкостями следует выполнять только в вытяжных шкафах или на оборудовании с местной вентиляцией.

Полирит, применяемый в качестве полирующего материала, содержит в незначительных количествах (0,04—0,075%) примеси естественного радиоактивного тория, который токсичен при попадании внутрь человеческого организма вместе с продуктами питания, а также через поврежденную кожу. Работая с полиритом, необходимо следить за состоянием кожи, тщательно мыть руки. Принимать пищу и хранить продукты питания на рабочем месте не допускается. При соблюдении правил техники безопасности и промышленной санитарии работа с полиритом безопасна.

Легковоспламеняющиеся жидкости и горючие материалы необходимо хранить в специально оборудованных складах и специальной таре. На рабочие места ЛВЖ подают в количестве, необходимом для работы в течение только одной смены. Сливать ЛВЖ в канализационную систему запрещается, отходы необходимо собирать в специальную тару и вывозить в ней из цеха.

Материю, протирочную ветошь и спецодежду, пропитанные ЛВЖ или маслом, запрещается длительно хранить и скапливать на одном месте, чтобы избежать их самовозгорания.

Для тушения горящих ЛВЖ следует применять песок, огнетушители, кошму и другие противопожарные средства, которые необходимо располагать на видном и легкодоступном месте.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение оптических деталей?
2. Что происходит с лучами света на границе раздела двух сред?
3. Назовите основные типы линз.
4. Расскажите о назначении призм.
5. Какие материалы применяют для изготовления оптических деталей?
6. Перечислите основные правила безопасности труда и производственной санитарии.

2. ПРОИЗВОДСТВО ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Свойства оптического стекла

Основным материалом для изготовления оптических деталей является стекло. Стекло — аморфное тело, полученное переохлаждением расплава стекломассы, причем процесс перехода из жидкого состояния в твердое должен быть обратимым.

Все твердые тела подразделяют на кристаллические и аморфные. Кристаллические тела анизотропны; обладают неодинаковыми свойствами в различных направлениях. Аморфные тела изотропны, т. е. свойства их одинаковы во всех направлениях. Одно и то же вещество в зависимости от скорости охлаждения может стать кристаллическим или аморфным. Например, кварц может быть кристаллическим (горный хрусталь) и аморфным (кварцевое стекло) в зависимости от условий его образования.

Механические свойства. Основным свойством стекла, определяющим его обрабатываемость при шлифовании и полировании, является твердость — способность стекла сопротивляться проникновению в него другого тела. Абразивная твердость стекла характеризуется относительной скоростью сошлифовывания; определяется отношением объема стекла К8, удаленного при шлифовании в определенных условиях, к объему стекла данной марки, сошлифованного при тех же условиях. Примеры относительной твердости некоторых распространенных марок оптических стекол приведены ниже.

Марка стекла . . .	К8	ЛК5	ЛК7	БК6	ТК2	БК10	БФ12	Ф1
Относительная твердость по сошлифованию	1,0	1,6	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Прочность стекла оценивается предельными напряжениями, вызывающими его разрушение. Стекло имеет довольно высокую прочность на сжатие $(5 \div 10) 10^{-6}$ Па и низкую при растяжении и изгибе $(3 \div 8) 10^{-7}$ Па. Прочность при растяжении значительно снижается, если на поверхности стекла имеется трещиноватый слой, образованный после шлифования и полирования.

Вязкость стекла характеризуется силой трения одного слоя вещества относительно другого и зависит от температуры. За единицу вязкости принят $1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$, что соответствует состоянию вещества, при котором происходит смещение слоя площадью 1 м^2 от силы 1 Н за одну секунду. Для стекол вязкость при изменении температуры от комнатной до 1400°С меняется в пределах от 10^{12} до $10 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Хрупкость характеризует сопротивление стекла ударным нагрузкам. Хрупкость зависит от внутренних напряжений, возникающих при охлаждении стекла после варки. Изделия из стекла при падении на твердую основу легко раскалываются.

Упругость — способность тел восстанавливать свою форму после снятия нагрузок. Это свойство учитывают при креплении в оправках тонких деталей и обработке тонких пластин. Модуль упругости для оптических стекол составляет $E = (500 \div 1200) \cdot 10^8 \text{ Па}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,12 \div 0,31$.

Плотность большинства оптических стекол изменяется от $2,2 \cdot 10^4$ для легких кронов до $6,5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ для сверхтяжелых флинов.

Химические и термические свойства. На процесс обработки оптических деталей оказывают влияние также химические и термические свойства стекла. Химические свойства стекол выражаются в устойчивости к воздействию на них химических веществ. Некоторые химические соединения, взаимодействуя с поверхностью стекла, образуют на нем слой в виде пленки, которая препятствует дальнейшему взаимодействию. Другие вещества (например, плавиковая кислота) интенсивно разрушают поверхность стекла, и это разрушение происходит непрерывно без образования защитной пленки с постепенным проникновением в глубь материала.

ла. В основном стекла устойчивы к воздействию воды и кислот, но имеют значительно более низкую стойкость по отношению к щелочам и щелочным растворам.

К термическим свойствам оптического стекла относят коэффициент линейного расширения. При нагревании оптическая деталь увеличивает свои размеры пропорционально этому коэффициенту, равному для стекол различных марок от $3 \cdot 10^{-6}$ до $10 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$. От величины коэффициента линейного расширения зависит термостойкость — способность стекла выдерживать без разрушения перепады температур. Стекло выдерживает малую разность температур (до 50—80°С) из-за наличия внутренних напряжений, плохой теплопроводности и большого коэффициента линейного расширения.

Оптические свойства. К оптическим свойствам стекла относят прозрачность, характеризуемую коэффициентом светопоглощения в зависимости от длины волны проходящего света. Оптическое бесцветное стекло хорошо пропускает видимую часть спектра и ближнюю инфракрасную до 2 мкм.

Основными оптическими свойствами стекла являются показатель преломления n_e и коэффициент дисперсии v_e . Показатель преломления n_e равен отношению синуса угла падения луча из воздуха в стекло к синусу угла преломления. Он нормируется для основной линии e спектра ртути при длине волны $\lambda_e = 546,07$ нм. Дисперсия света оценивается разностью показателей преломления двух разных длин волн. Коэффициент дисперсии определяют из соотношения: $v_e = n_e - 1/n_F - n_C$, где n_F — n_C — средняя дисперсия для фиолетового и красного лучей с длинами волн 480 и 643,8 нм.

2.2. Классификация и номенклатура оптического стекла

Классификация. Оптическое стекло отличается от любого стекла другого назначения своей высокой однородностью, отклонение от которой выражается в десятых долях процента.

Стекла принято условно делить на две группы: кроны и флинты. В каждой группе стекла делят на типы. В основу классификации стекол положены значения показателя преломления n_e и коэффициента дисперсии v_e . Наименования же типов остались сложившимися исторически, отражая особенности химического состава стекол. Первоначально к группе флинтов относили стекла с содержанием окислов свинца PbO более 3%, а к группе кронов — стекла с $PbO < 3\%$.

Каждому стеклу определенного химического состава присваивают марку, состоящую из обозначения типа и порядкового номера. Например, ТК1 — тяжелый крон один. Если при одинаковых значениях n_e и v_e двух стекол их химический состав различен, то им присваивают разные марки. Это связано с тем, что состав стекла определяется совокупностью всех его свойств — физических,

физико-химических, технологических, а эта совокупность различна у стекол разного состава.

Оптическое бесцветное стекло разделено на 16 типов (рис. 2.1):

ЛК — легкий крон, ФК — фосфатный крон, ТФК — тяжелый фосфатный крон, К — крон, БК — баритовый крон, ТК — тяжелый крон, СТК — сверхтяжелый крон, КФ — кронфлинт, БФ — баритовый флинт, ТБФ — тяжелый баритовый флинт, ЛФ — легкий флинт, Ф — флинт, ТФ — тяжелый флинт, СТФ — сверхтяжелый флинт, ОК — особый крон, ОФ — особый флинт.

В каталоге оптического бесцветного стекла, принятом в СССР, включено около 160 марок (табл. 2.1).

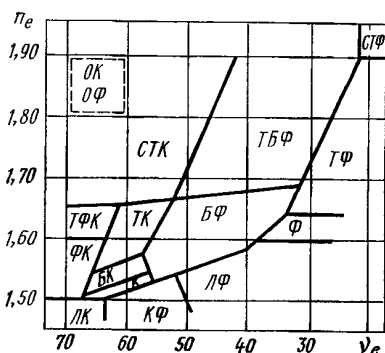


Рис. 2.1. Диаграмма типов оптических бесцветных стекол

2.1. Наиболее распространенные марки оптического бесцветного стекла

Марка	n_e	n_D	$n_F' - n_{C'}$	$n_F - n_C$
-------	-------	-------	-----------------	-------------

Легкие кроны

ЛК6	1,4721	1,4704	0,00708	0,00704
ЛК7	1,4846	1,4828	0,00732	0,00728

Фосфатные кроны

ФК14	1,5821	1,5799	0,00898	0,00891
------	--------	--------	---------	---------

Кроны

К8	1,5183	1,5163	0,00812	0,00806
К100	1,5237	1,5215	0,00882	0,00875

Баритовые кроны

БК6	1,5421	1,5399	0,00913	0,00905
БК110	1,5713	1,5688	0,01024	0,01015

Тяжелые кроны

ТК2	1,5749	1,5724	0,01005	0,00996
• ТК121	1,6600	1,6568	0,01299	0,01285

Сверхтяжелые кроны

• СТК9	1,7460	1,7424	0,01492	0,01478
--------	--------	--------	---------	---------

Кронфлинты

КФ4	1,5203	1,5181	0,00886	0,00879
-----	--------	--------	---------	---------

Марка	n_e	n_D	$n_F' - n_C'$	$n_F - n_C$
Баритовые флинт				
БФ12	1,6298	1,6259	0,01622	0,01601
Тяжелый баритовый флинт				
ТБФ4	1,7836	1,7786	0,02072	0,02045
Легкие флинт				
ЛФ5	1,5783	1,5749	0,01409	0,01392
Флинт				
Ф1	1,6169	1,6128	0,01681	0,01659
Тяжелые флинт				
ТФ1	1,6522	1,6475	0,01940	0,01912
ТФ105	1,7617	1,7550	0,02788	0,02743
Особые флинт				
ОФ4	1,6541	1,6505	0,01513	0,01497

Обычные стекла имеют порядковые номера марок от 1 до 99. Стекла с порядковыми номерами 100 и 200 мало темнеют под действием ионизирующего излучения, например от радиации ядерного взрыва. Самым распространенным и дешевым стеклом является стекло К8, из которого изготавливают положительные линзы, призмы, пластины и т. д. Оно обладает достаточной твердостью, хорошей однородностью и повышенными оптическими характеристиками. Флинтовые стекла марки Ф1 обладают большой дисперсией; их применяют для отрицательных линз, уменьшающих хроматические aberrации. Твердые стекла марок ЛК7 с большим содержанием окиси кремния близки по свойствам к кварцевому стеклу, имеют малое значение коэффициента линейного расширения; их применяют для зеркал интерферометров, пробных стекол и других ответственных оптических деталей.

2.3. Сырьевые материалы стекловарения

Сырьевые материалы условно делятся на главные и вспомогательные. Главные — служат для введения в стекломассу окислов, являющихся основой для образования стеклообразного вещества. Это кислотные, щелочные и щелочноземельные окислы.

Главные кислотные окислы, вводимые в шихту. Двуокись кремния (кремнезем) является главной составной частью большинства оптических стекол, используют природный кристалличе-

ский кварц (горный хрусталь) и синтетическую двуокись кремния. Из кускового кварца готовят кварцевую муку, измельчая его до размеров зерен 0,1—0,5 мм.

Содержание двуокиси кремния в кусковом кварце должно быть не менее 99,5%. Наиболее вредными примесями являются окислы хрома, титана и железа, которые окрашивают стекло и понижают его светопропускание. Их содержание в сырьевых материалах должно быть минимальным; в кварцевой муке не более 0,01%.

Для удаления примесей измельченные природные сырьевые материалы подвергают обогащению, сушке, просеиванию. Обогащение кварцевой муки производят флотационной оттиркой, электромагнитной сепарацией и химическими методами. Флотационная оттирка основана на различной смачиваемости водой поверхностей минералов. Частицы минералов, поверхность которых не смачивается водой (гидрофобные), прилипают к пузырькам воздуха и вместе с ними всплывают, образуя пену. Электромагнитной сепарацией отделяют зерна, содержащие железо, при движении частиц в магнитном поле. Химический метод обогащения основан на обработке кварцевой муки концентрированными фтористой, серной и соляной кислотами.

Борный ангидрид вводят в шихту в виде борной кислоты. Он улучшает осветление стекла, увеличивает скорость провара, снижает склонность стекла к кристаллизации.

Окись алюминия (глинозем) уменьшает показатель преломления и среднюю дисперсию, снижает склонность стекломассы к кристаллизации, увеличивает механическую прочность, термическую и химическую стойкость стекол.

Двуокись германия увеличивает светопропускание стекла в инфракрасной области.

Двуокись теллура получают сжиганием металлического теллура; теллуговое стекло содержит до 50—60% окиси теллура и обладает высоким светопропусканием в инфракрасной области.

Двуокись циркония повышает химическую стойкость стекла по отношению ко всем реагентам, увеличивает показатель преломления, уменьшает коэффициент термического расширения.

Главные щелочные окислы, вводимые в шихту. Окись натрия — важнейшая составная часть большинства стекол; вводят в шихту посредством соды и селитры; ускоряет стеклообразование, понижает температуру варки стекла и облегчает процесс удаления пузырей из стекломассы.

Окись калия вводят в шихту в виде поташа или калиевой селитры; снижает склонность стекла к кристаллизации, значительно увеличивает среднюю дисперсию.

Окись лития чаще всего вводят в виде углекислого лития; понижает коэффициент термического расширения стекла, облегчает его провар.

Щелочноземельные и некоторые другие окислы. Окись кальция — одна из важнейших составных частей стекла. Вводится в шихту посредством углекислого кальция (мела). Природный мел

слегка окрашен в желтый цвет при наличии в нем окислов железа и титана. Мел требует тщательной дополнительной обработки, такой же, как и кварц, т. е. измельчения, сушки, просеивания, удаления вредных примесей. Окись кальция облегчает варку стекла и содействует осветлению стекломассы, придает стеклу химическую стойкость.

Окись магния вводят в шихту посредством магнезита; повышает химическую стойкость и механическую прочность стекла; снижает его склонность к кристаллизации, увеличивает среднюю дисперсию.

Окись бария вводят в шихту в виде азотно-бариевой соли и углекислого бария. Баритовые стекла имеют более высокий коэффициент преломления, чем известковые.

Окись свинца вводят в шихту в виде свинцового глета или свинцового сурика. Свинцовые стекла имеют самый высокий показатель преломления и большую плотность.

Окись бериллия увеличивает прозрачность стекла в ультрафиолетовой области, повышает коэффициент преломления и термическую стойкость.

Вспомогательные сырьевые материалы. Их вводят в стекломассу в виде различных химических соединений. Вспомогательные сырьевые материалы служат для осветления, окрашивания, ускорения варки стекла, улучшения качества стекломассы и т. д.

Осветлители способствуют осветлению стекломассы в процессе ее варки, т. е. освобождению стекломассы от газовых включений — пузырей. К таким материалам относят трехокись сурьмы, хлористый натрий, трехокись мышьяка, селитру.

Красители окрашивают стекломассу в различные цвета при производстве оптических цветных стекол.

Глушители — соединения, которые лишают специальные виды стекол прозрачности. К глушителям относят фтористые соединения, соединения олова и фосфора.

Окислители и восстановители — соединения, используемые для регулирования условий варки оптических стекол. Окислительное действие оказывают натриевая и калиевая селитры, трехокись мышьяка и другие соединения. В качестве восстановителя применяют углерод, вводимый в шихту в виде древесного угля или кокса, калиевые соли, соединения олова, а также алюминий и магний.

Кроме перечисленных сырьевых материалов в шихту вводят стекольный бой. Он представляет собой измельченные и очищенные отходы оптического стекла той же марки, для которой составляют шихту. Бой стекла вводят иногда до 50% от массы шихты.

Требования, предъявляемые к шихте. Шихтой называют однородную смесь предварительно подготовленных и отвешенных в определенном соотношении сырьевых материалов для варки стекла заданного состава. Чем лучше приготовлена шихта, тем выше качество стекломассы, которую можно из нее варить. Неод-

нородность состава и комки в шихте вызывают различные пороки стекломассы. На качество шихты большое влияние оказывают зерновой состав, влажность, качество перемешивания, способ транспортирования и хранения сырьевых материалов.

Размеры зерен для каждого вида сырья различны. Чем больше плотность вещества, тем больше его измельчают. Сухие материалы плохо перемешиваются, а сухая шихта быстро расслаивается при транспортировании. Влажность шихты должна быть от 3 до 8%. Однородность и продолжительность перемешивания шихты зависят от конструкции смесителей; чем сложнее движение частиц материала внутри смесителя, тем быстрее и более однородной получится шихта. Способ транспортирования должен предотвращать расслаивание шихты. При транспортировании необходимо избегать вибраций и уменьшать длину пути перемещения шихты. В технологических процессах приготовления и транспортирования должна исключаться возможность попадания извне частиц железа в шихту.

Подготовка сырьевых материалов и приготовление шихты. В процессе подготовки сырьевые материалы размалывают и затем просеивают. Материалы для особо прозрачных оптических стекол просеивают на шелковых или капроновых ситах, чтобы уменьшить содержание железа в шихте.

После просева сырьевые материалы отвешивают в необходимых по расчету количествах на автоматических или стационарных весах с точностью до 0,1%. Затем компоненты перемешивают в барабанных или тарельчатых смесителях. Перемешивают шихту до получения наименьших отклонений по однородности состава в различных точках ее объема. Перемешанные сырьевые материалы поступают в загрузочный бункер, а из него в горшковую или ванную печь.

В процессе варки состав шихты претерпевает изменения. Часть компонентов улетучивается, а другая — прибавляется. При расчете шихты это учитывается использованием так называемых шихтных множителей, значения которых найдены опытным путем и имеются в справочной литературе. Для получения из шихты качественного стекла технология варки его отрабатывается на производстве пробной партии.

2.4. Варка оптического стекла

Технологические процессы варки оптических стекол имеют ряд особенностей, обусловленных номенклатурой марок. Варку производят при температурах около 1450—1500°С с точностью регулирования $\pm 10^\circ\text{C}$ в стекловаренных печах периодического действия. Варят стекло в сосудах, которые называют горшками.

Горшки для варки стекла. Вместимость горшка 100—900 л, а масса стекла в нем 500—2000 кг. Сухие горшки имеют массу до 800 кг. Горшки должны выдерживать температуру до 1600°С, обладать хорошей сопротивляемостью к разъеданию его горячей

стекломассой, выдерживать резкие перепады температур, иметь высокую механическую прочность и малую пористость. Горшки изготавливают из смеси каолина и шамота, который увеличивает прочность горшка, уменьшая его усадку при высыхании. Шамот — это измельченная смесь обожженного каолина и отходов использованных горшков. Горшки изготавливают несколькими способами. При полусухой формовке горшочная масса состоит из 39% шамота, 12% каолина, 10% глины и 39% горшочного боя. Влажность горшочной смеси 6—7%.

Способ гидростатического прессования заключается в формовке горшка из полусухой массы, имеющей влажность 4,5—5%. Равномерное распределение прессующих усилий создается за счет передачи давления жидкости через эластичную резину и сжатия всего объема вакуумированной массы вокруг металлического сердечника, что обеспечивает лучшее качество горшка. Содержание окислов железа в горшочной массе не более 0,01%.

Отформованные горшки проходят сушку и отжиг. Электротермический метод сушки токами высокой частоты протекает около пяти суток. После сушки горшки обжигают. Обжиг осуществляют в два этапа: в электрических или газовых печах до температуры 1000°С и в пламенных печах — до температуры 1500°С. Для уменьшения разъедания горшков горячей стекломассой стенки его перед обжигом покрывают изнутри защитной обмазкой из жидкого каолина. Для варки ответственных стекол применяют горшки из плавленного кварца или из платиновых сплавов. Каждый горшок используют от одного до 15 раз в зависимости от марки и качества стекла, для варки которого горшок предназначен.

Стекловаренные горшковые печи. Варку стекла производят в одной или двух горшковых печах периодического действия. Печи пламенные обогреваются газом или нефтью.

В горшковых печах температура достигает 1600°С и регулируется с точностью $\pm 10^\circ\text{C}$ за 15 мин. Для использования тепла отходящих из печи газов применяют регенераторы или рекуператоры. Печи могут быть с верхним и нижним пламенем.

В печах с верхним пламенем на поверхности стекломассы образуется грязная пленка и нет перемешивания стекломассы конвекционными потоками. В печах с нижним пламенем стекломасса загрязняется разрушенными частицами горшка, которые разносятся восходящими конвекционными потоками.

Для перемешивания стекломассы при варке применяют керамические мешалки пропеллерного (рис. 2.2, а) или пальчикового (2.2, б) типа, сделанные из той же керамической массы, что и горшки.

При варке больших количеств оптического стекла средней сортности применяют не горшковые, а ваннные печи непрерывного и периодического действия, при этом внутреннюю поверхность ванн футеруют кварцевыми и высокоглиноземными брусками.

Процесс варки стекол. Варка стекла — сложный тепловой физико-химический процесс, в котором шихта превращается в стекло-

массу. Весь процесс можно условно подразделить на несколько этапов (см. рис. 2.3).

При силикатообразовании под действием нагрева шихта спекается в непрозрачную массу. К этому времени между компонентами шихты заканчиваются основные химические реакции, проходящие в твердом состоянии. Газообразные вещества улетучиваются. Температура в печи 800—1000° С.

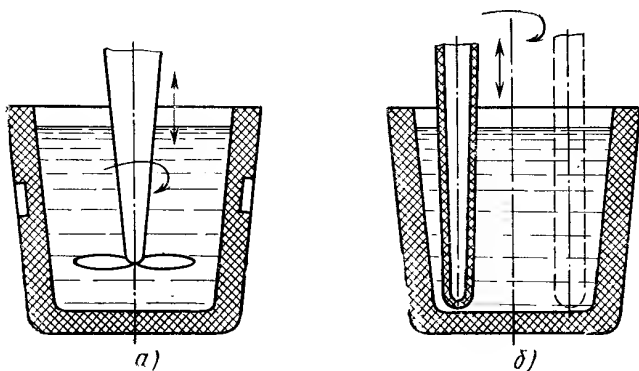


Рис. 2.2. Горшки для варки стекла

При стеклообразовании непрозрачная масса плавится и становится прозрачной. Кремнезем и силикаты взаимно растворяются, образуя стекломассу, которая неоднородна, пронизана большим количеством свилей и пузырей и имеет температуру около 1200° С.

Для осветления стекломассы температуру ее повышают до 1600° С. Вязкость стекломассы становится наименьшей, достигая 10 Па·с; при этом она освобождается от пузырьков газа. Для лучшего осветления стекломассы иногда используют продув ее сжатым воздухом или кислородом, а также бурление мокрыми деревянными чурками. В шихту добавляют осветители (трехокиси мышьяка и селитры). Они при нагревании разлагаются с выделением большого количества кислорода, пузыри которого, поднимаясь, уносят из стекломассы мелкие пузыри.

Гомогенизация — выравнивание химического состава стекла; достигается перемешиванием стекломассы при температуре около 1400° С. Гомогенизация протекает почти одновременно с осветлением.

Студка — охлаждение стекломассы вместе с печью и вне печи.

Основные технологические операции (рис. 2.3) процесса варки стекла выполняют в такой последовательности:

1. Перевозят горшок из печи для обжига в стекловаренную печь. Горшок вставляют в печь, дверь печи опускают, а щели в ней замазывают шамотом. Температура в печи около 900° С.

2. Выводку горшка производят для образования плотного по-

верхностного слоя на стенках горшка. При этом горшок разогревают до 1200°C . Операция занимает 10—20 ч.

3. Засыпку шихты начинают с обмазки горшка изнутри возвратным боем. Возвратный бой — это отходы стекла той же марки. Обмазка уменьшает разъедание стенок горшка горячей стекломассой. Засыпка шихты длится 3—6 ч и ведется послойно: бой — шихта, бой — шихта. После засыпки каждого слоя осуществляют некоторый провар шихты. Температура в печи $900\text{—}1200^{\circ}\text{C}$.

4. При проваре твердая шихта расплавляется, образуя вязкую стекломассу. Происходит силикато- и стеклообразование. Заключаются основные химические реакции. Вся стеклообразная масса пронизана пузырями углекислого газа.

5. При осветлении и гомогенизации стекломассы химические реакции, протекающие в ней, завершаются. Температуру стекломассы увеличивают до $1400\text{—}1500^{\circ}\text{C}$ и интенсивно перемешивают ее. При этом стекломасса освобождается от пузырей.

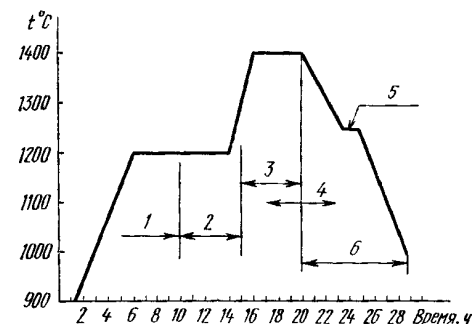


Рис. 2.3. График режима варки оптического стекла:

1 — выводка горшка, 2 — засыпка и провар шихты, 3 — осветление стекломассы, 4 — гомогенизация, 5 — уничтожение «вторичной мошки», 6 — студка горшка

6. Студка стекломассы протекает вместе с печью до температуры, при которой можно вынимать горшок из печи. Перед студкой производят «хальмование» — удаление из горшка загрязненного поверхностного слоя стекломассы. Второй этап студки осуществляют вне печи. При студке уменьшают температуру в печи и число оборотов мешалки; подачу топлива прекращают и горшок охлаждают вместе с печью. При температуре 800°C горшок вынимают из печи. Остывание горшка вне печи длится до 8 дней. На горшок одевают кожух. Пространство между кожухом и горшком заполняют песком. При правильном режиме охлаждения стекло должно растрескиваться в горшке на большие куски. При медленном остывании стекло может застыть в одну глыбу, внутри которой останутся остаточные напряжения.

Продолжительность варки стекла зависит от марки стекла и лежит в пределах 25—50 ч. Flintовые сорта стекол варят за 25—30 ч, тяжелые кроны — за 20—50 ч.

Пороки стекломассы. Пороками стекломассы называют нарушения однородности стекла, возникающие в процессе его варки. Различают газообразные включения и кристаллические (твердые) включения.

Газообразные включения, или пузыри, представляют собой замкнутые полости в стекле, заполненные газом. Пузыри

уменьшают прозрачность и механическую прочность стекла, а также могут исказить картину оптического изображения. Пузыри остаются в стекломассе после незаконченного осветления и могут быть занесены в стекломассу из атмосферы печи.

Стекловидные включения, или свили, представляют собой границы объемов стекла с различными составами. Это прозрачные участки стекла, резко отличающиеся по показателю преломления от основной массы стекла. Различают свили нитевидные и свиль-границу двух участков стекла.

2.5. Разделка оптического стекла

Стекловаренные заводы выпускают оптическое стекло в виде прессовок, имеющих форму оптических деталей, — линз, призм, пластин с припуском на их обработку, а также кусковых заготовок правильной формы.

Литье горячей стекломассы. Горшок выводят из печи и удаляют в отход поверхностный слой загрязненной стекломассы. Придонный слой оставляют в горшке. Выход годного стекла около 70% объема. Стекло выливают из горшка на чугунный стол и прокатывают валком в лист толщиной от 14 до 60 мм. Чтобы стекло не прилипало, на поверхность стола наносят слой подсыпки. После прокатки лист передвигают в печь для отжига. Затем поверхности листа шлифуют и полируют. Стекло, вырабатываемое этим способом, уступает по качеству стеклу, полученному при охлаждении в горшке. При выливании стекла свилистые участки разносятся по всей стекломассе.

Литьем горячей стекломассы в форму прямоугольную и круглую получают блоки стекла толщиной 100—350 мм, а также заготовки больших оптических деталей.

Моллирование. Это процесс изменения формы горячей размягченной заготовки под действием собственного веса или внешнего давления. Моллирование осуществляют при температуре 600—1000°С. Различают свободное и принудительное моллирование.

При свободном моллировании куски (рис. 2.4, а) или листы (рис. 2.4, б) стекла подгоняют по массе, форме и габаритным размерам, чтобы получить в дальнейшем заготовку необходимого размера. Кусок или лист стекла 1 помещают в шаментную форму 2, на дно которой насыпают слой подсыпки. Форму устанавливают в пламенную или электрическую печь. В печи стекло постепенно разогревается, приобретает пластическое состояние, а затем оседает на форму, приобретая требуемую конфигурацию 3.

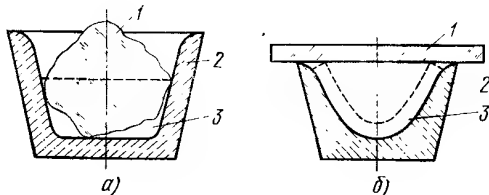


Рис. 2.4. Моллирование

При принудительном моллировании разогретую до размягчения заготовку формируют с применением вакуума. Этим достигается хорошее заполнение формы стеклом. Моллированные заготовки подвергают отжигу.

Прессование стекла. При прессовании куска стекла, разогретого до температуры размягчения, получают заготовку необходимой формы и размеров с припуском на обработку. Прессовки изготавливают для серийного производства оптических деталей.

Применение прессовок снижает себестоимость оптических деталей, уменьшает количество и трудоемкость заготовительных операций. Перед началом прессования стекло контролируют на отсутствие свилей, пузырей и других дефектов. Куски стекла подбирают с одинаковой массой для получения прессовок заданного размера. Для прессовок размером более 100 мм, идущих малыми партиями, подгонку массы производят вручную, удалением молотком выступающих участков стекла и взвешиванием куска.

При изготовлении прессовок небольшого размера массой 5—45 г каждая блок стекла распиливают на пластины, которые затем проверяют на качество, размечают и раскалывают на мелкие квадратные кусочки — нарезки. Нарезки стекла нагревают в печах до температуры 800—1100°С в зависимости от марки стекла и конфигурации прессуемой заготовки. Нагрев заготовок производят за несколько минут. Нагретые заготовки (на рис. 2,5 обозначен пунктиром) укладывают в матрицу 2 пресс-формы, которая расположена около нагревательной печи. Для получения качественной поверхности прессовки пуансон 1 и матрицу 2 пресс-формы подогревают до температуры 350—550°С. На поверхности прессовки 3 выдавливают клеймо, указывающее марку и номер партии стекла.

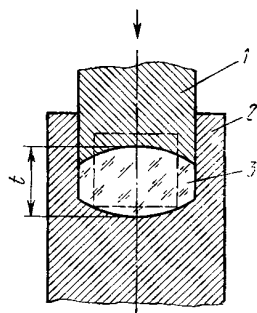


Рис. 2.5. Прессование

ной поверхности прессовки пуансон 1 и матрицу 2 пресс-формы подогревают до температуры 350—550°С. На поверхности прессовки 3 выдавливают клеймо, указывающее марку и номер партии стекла.

Отжиг стекла. Оптическое стекло в кусках или прессовках подвергают отжигу — термической обработке. Отжиг уменьшает остаточные напряжения, вызывающие двойное лучепреломление в стекле. Продолжительность отжига зависит от размеров заготовки, его выполняют в такой последовательности:

1. Стекло нагревают или охлаждают до температуры отжига (380—630°С) со скоростью 5—7°С в час.

2. Стекло выдерживают при верхней температуре отжига T_v в течение 6—72 ч.

3. Стекло охлаждают до нижней температуры отжига T_n , лежащей на 100—150° ниже T_v со скоростью 0,1—5 град/ч.

4. Охлаждают стекло до комнатной температуры со скоростью 3—10 град/ч.

Режим отжига зависит от марки стекла, массы детали и требований к двойному лучепреломлению и однородности. Время от-

жиги оптических деталей с размерами до 150 мм обычно колеблется от 5 до 30 сут. Продолжительность отжига заготовок для астрономической оптики достигает нескольких месяцев.

Для отжига применяют пламенные и электрические печи периодического или непрерывного действия. Требуемый режим отжига поддерживается автоматически.

Для прессовок первоначально проводят грубый отжиг в течение 4—6 ч с последующим контролем на наличие внешних дефектов: шамота, складок, вмятин, заколов и т. д. Годные прессовки поступают на тонкий отжиг. После отжига заготовки контролируют на двойное лучепреломление.

2.6. Выращивание оптических кристаллов

Оптические кристаллы. В оптическом приборостроении применяют кристаллы, отличающиеся от стекла высокой прозрачностью в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра, широким диапазоном показателей преломления, большим коэффициентом средней дисперсии и т. д.

Особое место кристаллы занимают в новейших областях науки и техники: квантовой электронике, космической технике и др. В твердотельных оптических квантовых генераторах в качестве активной рабочей среды широко применяют активизированные ионные кристаллы рубина, флюорита, иттриево-алюминиевого граната. Условия эксплуатации оптических изделий в космосе или агрессивных средах, например при исследовании газов в аэродинамических трубах, вызывает необходимость применения сапфира и карбида кремния.

В оптике применяют как природные кристаллы, например, каменную соль NaCl , кварц SiO_2 , исландский шпат CaCO_3 и т. д., так и синтетические кристаллы. Природные оптические кристаллы, отвечающие требованиям прозрачности, однородности, со значительными размерами встречаются крайне редко. Поэтому в промышленности применяют в основном синтетически выращиваемые кристаллы. Кристаллы, которые в природе не встречаются, получают только синтетически.

В оптике наибольшее применение нашли следующие кристаллы.

Кристаллический кварц SiO_2 кристаллизуется в виде гексагональной призмы; оптически анизотропен, имеет одну оптическую ось; для длины волны $\lambda=0,589$ мкм показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей составляют $n_e=1,564$ и $n_o=1,553$ (оптически положителен, т. е. $n_e > n_o$); из-за малой разности n_e и n_o не применяют для поляризаторов. Кварц вращает плоскость поляризации на 22° на 1 см хода луча вправо или влево и обладает пьезоэффектом — способностью электризоваться под действием механических нагрузок, применяют в основном для спектральных приборов в диапазоне длин волн от 0,18 до 10 мкм. Кристаллический кварц чувствителен к изменениям температуры (растрескивается), твердость по Моосу 7, спайность отсутствует.

Применяют наиболее чистые, бесцветные куски кристалла без включений и двойников, как природные, так и синтетические.

Исландский шпат CaCO_3 (кальцит) — кристалл в виде ромбоэдра; обладает двойным лучепреломлением ($n_o = 1,658$; $n_e = 1,486$); имеет одну оптическую ось, которая проходит через вершины ромбоэдра с тупыми углами между гранями. Кристалл очень хрупкий и мягкий; обладает совершенной спайностью по грани ромбоэдра; легко раскалывается по плоскостям спайности, твердость по Моосу равна 3; очень чувствителен к перепадам температур — нагретый до 60°C кристалл раскалывается от прикосновения холодными руками. Исландский шпат широко применяют для деталей поляризационных приборов и призм Николя, Валлостона, Рошона и др.

В природе встречается в виде довольно больших (до 150 мм) оптически чистых образцов. Наилучшие по чистоте образцы добывают в Исландии. В СССР кальцит встречается в Крыму, Якутии, на Северном Кавказе. Синтетически исландский шпат не получают. В настоящее время пытаются заменить исландский шпат кристаллами азотнокислого натрия и фосфата аммония.

Флюорит CaF_2 (фтористый кальций) оптически изотропен; кристаллизуется в кубической системе; обладает несовершенной спайностью по грани октаэдра; имеет высокую прозрачность в диапазоне от 0,125 до 40 мкм. В паре с кристаллическим кварцем дает очень хорошие ахроматические объективы для ультрафиолетовой и инфракрасной областей спектра. Фтористый кальций практически негигроскопичен; устойчив к кислотам, твердый; трескается при резком нагревании; применяют в основном синтетические монокристаллы.

Фтористый литий LiF — синтетический монокристалл кубической формы; близок по свойствам к флюориту; прозрачен в области 0,25—15 мкм. Показатель преломления кристалла при $\lambda = 0,4$ мкм равен 1,4 и уменьшается до единицы при $\lambda = 11$ мкм; применяют в оптических системах с ахроматической коррекцией, спектральных приборах и ИК-технике.

Фтористый литий — дорогостоящий и сложно выращиваемый кристалл; нерастворим в воде; обладает совершенной спайностью по граням куба; твердость по шкале Мооса равна 3,5; легко царапается, поэтому при обработке его трудно добиться высокого класса чистоты поверхности.

Фтористый магний MgF_2 (выпускается в США под названием «Иртран-1») — однородный поликристалл кубической формы; нерастворимый в воде; механически прочный; рабочий интервал температур от -200 до $+800^\circ\text{C}$. Прозрачен в инфракрасной области от 1 до 14 мкм, применяют для обтекателей ракет.

Каменная соль NaCl — монокристалл кубической формы; мягкий; очень хорошо растворимый в воде. Кристаллы каменной соли прозрачны в области спектра от 0,25 до 30 мкм; весьма однородны; сравнительно дешевы; применяют в основном для призм спектрометров. Из-за высокой гигроскопичности кристаллов труд-

но получить высокое качество поверхностей, требуется защита их от влаги. В настоящее время освоена технология выращивания кристаллов размером до 1 м^3 .

Германий Ge и кремний Si — кристаллы серо-стального цвета кубической формы; непрозрачны в видимой области спектра; хорошо пропускают длины волн от 2 до 15 мкм. На пропускную способность германия и кремния влияет наличие в них примесей. Германий имеет показатель преломления $n=4,14$ при $\lambda=1,8 \text{ мкм}$, кремний $n=3,56$ при $\lambda=1 \text{ мкм}$. Нерастворимость германия и кремния в воде, высокая антикоррозионная и химическая стойкость обусловили применение их в защитных элементах ИК-техники в качестве фильтров для срезания видимого излучения, а также для изготовления различных линз.

В природе кремний встречается в виде двуокиси кремния. Прокаливанием чистого кремнезема с магнием можно получить свободный кремний в аморфном состоянии.

Германий — один из наиболее рассеянных элементов. Источником получения германия обычно служат зола каменных и бурых углей и отходы цинкового производства.

Корунд Al_2O_3 — монокристалл кубической формы; очень твердый (по Моосу — 9); термостойкий до 2000°C ; устойчив практически против всех химикатов. В зависимости от добавок в корунд синтетически получают рубин, применяемый для твердотельных лазеров, сапфир, alexandrit, топаз. Корунд, почти бесцветный или слабо окрашенный в синий цвет, называют лейкосапфиром. Корунд применяют в качестве подложек для фильтров или окон приборов, работающих в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра.

Иодистобромистый таллий KRS-5 — синтетический кристалл кубической формы; мягкий; токсичный; пропускает инфракрасное излучение от 0,8 до 40 мкм, показатель преломления его меняется от 2,48 до 2,3; применяют для призм, окон и линз в ИК-технике.

Выращивание кристаллов. Большинство кристаллов в настоящее время получают синтетически — выращивают. Выращивают кристаллы из раствора, расплава или газообразной среды.

Выращивание из раствора применяют для веществ, способных образовывать перенасыщенные растворы. Этот способ не требует сложного оборудования, прост в своем выполнении и дает возможность получать кристаллы больших размеров. В качестве растворителей применяют воду, органические жидкости и щелочные растворы. Чтобы создать перенасыщенный раствор, его охлаждают или испаряют. При подходе к пределу насыщения растворенное вещество не выпадает в виде осадка, а начинает самопроизвольно кристаллизоваться. Для равномерного роста кристаллов больших размеров в раствор вводят «затравку» — небольшой кусок кристалла из того же вещества. По мере роста кристалла выделяется теплота, вследствие чего температуру растворов постепенно снижают.

На рис. 2.6 показана схема кристаллизатора — устройства для выращивания кристаллов из раствора ортофосфата аммония.

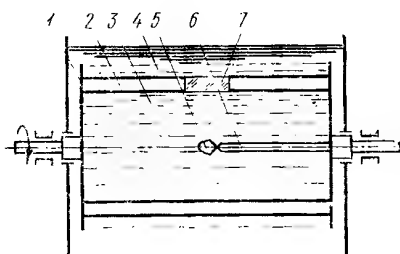


Рис. 2.6. Выращивание кристаллов из раствора

Устройство представляет собой вращающийся цилиндр 1 с двойными стенками 2 из нержавеющей стали, заполненный водным раствором 3 и помещенный в резервуар 4 с водой. Кристаллический зародыш 5 вводят на середину цилиндра с помощью тонкого стержня 6 из нержавеющей стали. Для наблюдения за ростом кристаллов на боковых поверхностях цилиндра имеются смотровые окна 7. Температура в помещении, где расположен кристаллизатор, поддерживается постоянной с погрешностью до $0,1^{\circ}\text{C}$. Полный период выращивания кристалла длится от 3 до 40 дней со снижением по $0,5^{\circ}\text{C}$ в день.

Кристаллы кварца выращивают из раствора в автоклаве при температуре $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ и давлении порядка $9,18\cdot 10^7$ Па. Исходным материалом являются куски молотого кварца, растворяемые в щелочном водном растворе.

Выращивание кристаллов из расплава применяют для многих кристаллов кубической системы, имеющих невысокую температуру кристаллизации (каменная соль, сильвин) или для ряда тугоплавких кристаллов (флюорит, германий, кремний).

Установка для выращивания кристаллов из расплава методом Чохральского состоит из тигля 1 с расплавом 2, устанавливаемого внутри герметичной камеры 3, в которой тигль можно поворачивать и перемещать по высоте (рис. 2.7). Разогрев тигля производят с помощью индукционной катушки 9 от генератора высокой частоты. Кристаллодержатель 6 вводят через отверстие в крышке 7, позволяющее вращать и поднимать затравку 5 с кристаллом 4. Приток и вывод защитного газа (для германия, например, применяют смесь водорода с азотом или аргоном) производят через вводы 8 и 10. Материалом тиглей для выращивания германия служит спектрально чистый графит, а для выращивания кремния — кварц, монтируемый внутри графитового нагревателя.

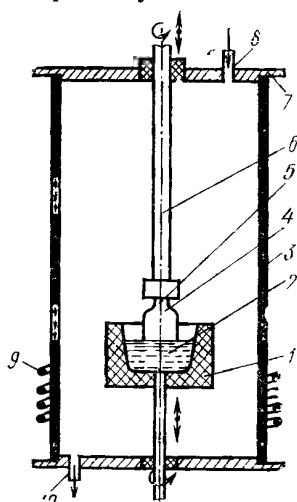


Рис. 2.7. Выращивание кристаллов из расплава

Процесс кристаллизации выполняют в такой последовательности. Расплавленный в тигле материал несколько перегревают, что-

бы удалить из него летучие примеси и газы. В расплав сверху опускают затравку, укрепленную в кристаллодержателе. Температура расплава несколько превышает температуру кристаллизации; при этом затравка оплавляется, образуя перешеек. Затем температуру расплава медленно понижают до тех пор, пока не начнется рост кристалла. Этот метод требует тщательного соблюдения температурного режима, так как повышение температуры расплава вызывает расплавление кристалла, а ее понижение — замерзание кристалла, т. е. самокристаллизацию и выпадение в различных участках расплава мелких кристаллов.

Чтобы улучшить структуру и свойства кристаллического слитка, монокристалл в процессе роста непрерывно вращают со скоростью 2—5 рад/с, а тигль — в обратном направлении со скоростью порядка 2—3 рад/с; скорость подъема составляет 0,5—5 мм/мин. Время выращивания кристаллов из расплава меньше, чем скорость выращивания их из раствора. Для выращивания кристаллического моноблока диаметром до 200 мм и высотой до 100 мм из бромистого калия требуется приблизительно 2—3 сут, а кристаллов хлористого натрия того же размера — около суток.

После выращивания кристалл отламывают от затравки и отжигают, т. е. медленно охлаждают в печи для снятия внутренних напряжений. Плохо отожженные кристаллы очень хрупки и непригодны для дальнейшей механической обработки.

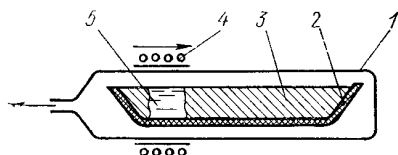


Рис. 2.8. Очистка кристаллов зонной плавкой

В кристаллах германия и кремния, применяемых в полупроводниковых и оптико-электронных приборах, допускается на 10 млн. атомов кристалла один примесный атом. Очистку кристаллов проводят методом зонной плавки, или зонной перекристаллизации. В кварцевую трубку 1 (рис. 2.8), соединенную с вакуумной системой, помещают графитовый контейнер 2, в который в виде отдельных кусков или целого образца заложен кристалл 3, предназначенный для очистки. В трубке создают вакуум порядка 10^{-2} — 10^{-3} Н/м² или ее наполняют инертным газом (аргоном) с давлением, несколько выше атмосферного. На кольцевой нагреватель 4 подают напряжение, расплавляют зону 5 образца, которая по мере расплавления перемещается одновременно с нагревателем вдоль образца с равномерной скоростью. В этом случае очистка материала зонной плавкой обеспечивается тем, что большинство примесей, содержащихся в кристаллах, лучше растворяются в жидкой фазе и, следовательно, за расплавленной зоной будет кристаллизоваться (затвердевать) более чистый материал.

Выращивание кристаллов из тугоплавких материалов типа корундов производят способом пламенной плавки из газовой среды. Исходный материал представляет собой смесь пудры окиси алюминия с добавками (не более 1—3%) окиси хрома

Cr_2O_3 для рубина, железа Fe для сапфира и ванадия V для александрита. Исходный материал 4 (рис. 2.9) засыпают в бункер 3, который закреплен на пружинном подвесе 2. Под действием вибратора 1 бункер сотрясается и пудра просеивается через сетчатое дно 5, попадая в область 7 кислородно-водородного пламени. Снизу на силиковом стержне 9 в зону 7 вводят затравку 8, на которую осаждается нагретая в зоне горения пудра. Кристалл наращивают в форме цилиндра 6, причем его верхняя часть остается все время расплавленной в зоне горелки, что достигается с помощью механизма перемещения 10, постепенно опускающего и вращающего кристалл.

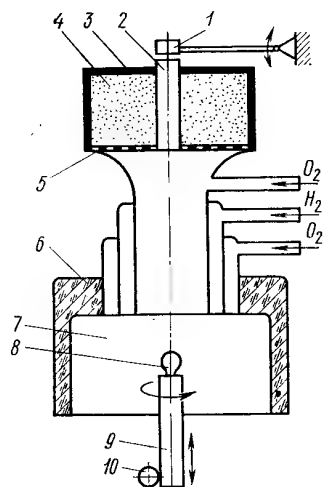


Рис. 2.9. Выращивание кристаллов пламенной плавкой

После роста кристалла его вместе с силиковым стержнем извлекают из печи, отламывают от затравки и отжигают в кислородной печи при температуре 1900°C в течение 10 ч с последующим медленным охлаждением. Кристаллы, выращиваемые этим методом, имеют длину до 60 мм и диаметр до 30 мм.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные свойства оптического стекла.
2. Расскажите о диаграмме типов стекол.
3. Какие марки бесцветного оптического стекла применяют для изготовления оптических деталей?
4. Перечислите сырьевые материалы, используемые для варки стекла.
5. Расскажите о режимах варки оптического стекла.
6. Какие дефекты возникают в стекле при варке?
7. В чем заключается разделка оптического стекла после варки?
8. Как выращивают кристаллы?
9. Назовите основные свойства оптических кристаллов.



3. ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ ОПТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Абразивные материалы

Основным требованием, предъявляемым к абразивным материалам, является твердость. Твердость абразивных материалов принято оценивать по минералогической шкале Мооса. В этой шкале материалы расположены в возрастающем порядке по их взаимной

способности оставлять царапины. При взаимном царапании двух материалов царапины остаются на материале с меньшей твердостью. Поэтому в шкале Мооса этот материал будет иметь номер, меньший номера более твердого материала. Шкала Мооса десятибалльная, составлена из перечня естественных минералов, расположенных по номерам в порядке возрастания твердости: 1 — тальк, 2 — гипс, 3 — кальцит, 4 — флюорит, 5 — апатит, 6 — ортоклаз, 7 — кварц кристаллический, 8 — топаз, 9 — корунд, 10 — алмаз. Твердость стекла по шкале Мооса находится в пределах 4—7.

В зависимости от происхождения абразивные материалы подразделяют на природные и синтетические. Наиболее широко применяют синтетические абразивные материалы.

Абразивные материалы для шлифования. Алмаз — природный или синтетический материал. По химическому составу кристалл углерода с твердостью 10 по минералогической шкале Мооса.

Для технических целей используют природные кристаллы частично прозрачные серо-желтого цвета или их обломки, называемые бортом. Порошки природного алмаза, применяемого в оптическом производстве, имеют марки АМ и АН, где М и Н — начальные буквы иностранных слов «средний» и «высокий». Шлифующая способность у порошков АМ ниже, чем у АН.

Синтетические алмазы по химическому составу, твердости и другим параметрам близки к природным алмазам. Наиболее распространенный способ получения синтетических алмазов — синтез углеродосодержащих веществ при высоких температурах и значительных давлениях. Синтетические алмазы — это порошки мелких кристаллов, различных по форме, размерам, цвету, прочности и хрупкости. Промышленность выпускает пять марок синтетических алмазов: АСО, АСР, АСВ, АСК, АСС. Шифр включает наименование алмаза АС (алмаз синтетический) и индекс типов порошков, отличающихся физико-механическими свойствами. Каждый из порошков, имеющий следующий индекс, имеет большую твердость и меньшую хрупкость, чем предыдущий. Синтетические алмазы различной зернистости выпускают и используют в виде порошков, паст и алмазного инструмента различных типов и размеров.

Корунд — кристаллическая окись алюминия природного происхождения. Цвет порошка (серый, розовый, синий и др.) определяют примеси железа, хрома и других веществ. Твердость корунда по минералогической шкале 9. Корунд коричневого цвета, имеющий много примесей, называют аждаком.

Электрокорунд — синтетическая кристаллическая окись алюминия, получаемая электроплавкой веществ, содержащих глинозем; твердость по минералогической шкале 9. Марки электрокорунда, выпускаемого промышленностью, различаются процентным содержанием окиси алюминия и составом примесей. В производстве оптических деталей используют белый электрокорунд марки ЭБ, в котором содержится 96—99% окиси алюминия. Электрокорунд марки Э называют нормальным электрокорундом, который выпускают двух сортов 93Э и 91Э. Цифры указывают на про-

центное содержание окиси алюминия. Электрокорунд — наиболее распространенный абразивный материал для обработки оптических деталей. Порошки электрокорунда применяют в виде водных суспензий и абразивных кругов.

Карбид кремния, или **карборунд**, — синтетическое кристаллическое соединение углерода с кремнием; получают сплавлением в электропечах угля с кварцевым песком; твердость по минералогической шкале 9,5—9,75; выпускают двух сортов: КЗ (карборунд зеленый) и КЧ (черный), различающихся по цвету и процентным содержанием карбида кремния — в КЧ содержится меньше карбида кремния, чем в КЗ; используют в виде порошков при грубом шлифовании и для изготовления абразивных кругов.

Карбид бора — синтетическое кристаллическое соединение углерода с бором; получают сплавлением угля с борной кислотой в электропечах; твердость по минералогической шкале 9,8—9,9. Карбид бора в виде порошка используют в оптическом производстве при шлифовании таких твердых материалов, как рубин, сапфир, а также при ультразвуковой обработке.

Зернистость и зерновой состав абразивов. Подготовка исходных абразивных материалов для их использования при шлифовании оптических деталей заключается в дроблении на зерна, очистке от примесей (или обогащении) и классификации порошков по размерам зерен.

При очистке от примесей (или обогащении) используют как химические, так и физические способы. Примером химического обогащения служит травление дробленых зерен кислотами с последующей тщательной промывкой. В процессе обогащения физическим способом дробленые зерна пропускают через мощное магнитное поле, после чего прошедшие зерна содержат в своем составе минимальное количество металлических примесей.

В процессе классификации порошки всех материалов, кроме алмазов, разделяют по крупности зерен на три группы: шлифзерно с размером зерен от 160 мкм и выше, шлифпорошки с размером зерен от 40 до 160 мкм, микропорошки с размером зерен от 40 мкм и ниже. Каждая группа содержит несколько условных номеров (табл. 3.1).

3.1. Классификация абразивных материалов (кроме алмаза) на группы

Группа зернистости	Условное обозначение зернистости	Размер зерна основной фракции, мкм	Область использования
Шлифзерно	25 20 16	315 -250 250 -200 200 -160	Изготовление абразивного инструмента. Грубое шлифование суспензиями порошков. Шероховатость обработанных поверхностей $Rz\ 80 - Rz\ 20\ \mu\text{м}$

Группа зернистости	Условное обозначение зернистости	Размер зерна основной фракции, мкм	Область использования
Шлифпорошки	12	160—125	Изготовление абразивного инструмента. Грубое и среднее шлифование суспензиями порошков. Шероховатость обработанных поверхностей $Rz\ 20 - Ra\ 1,2$ мкм
	10	125—100	
	8	100—80	
	6	80—63	
	5	63—50	
	4	50—40	
	3	40—28	
Микропорошки	M63	63—50	Среднее и мелкое шлифование суспензиями порошков. Шероховатость обработанных поверхностей $Ra\ 2,5 - Ra\ 0,04$ мкм
	M50	50—40	
	M40	40—28	
	M28	28—20	
	M20	20—14	
	M14	14—10	
	M10	10—7	
	M7	7—5	
	M5	5—3	

Разделение на шлифзерно и шлифпорошки осуществляют просеиванием абразивов через набор сит с последовательно уменьшающимся размером ячеек. Принятое условное обозначение зернистости включает в себя размер (в сотых долях миллиметра) ячеек сита, задерживающего зерно с размером основной фракции. Линейные размеры зерен основной фракции определяют визуально микроскопическими измерениями.

Микропорошки обозначают буквой М, а номер микропорошка, следующий за буквой, указывает на размер порошка в микрометрах. Для разделения микропорошков на фракции применяют водную классификацию, при которой зерна абразива различного размера выносятся из сосуда потоком движущейся воды с различной скоростью.

В условное обозначение зернистости (табл. 3.2) алмазных шлифпорошков и микропорошков в виде дроби входят размеры (в микрометрах) ячеек двух сит, задерживающих крупную фракцию (числитель) и основную фракцию (знаменатель). Абразивы каждой группы содержат основную, крупную и мелкую фракции крупности зерен. Длительно, дорого и нет необходимости создавать однородные по крупности зерен группы. Соответствующим разделением необходимо обеспечить только заданное процентное соотношение фракций в группе. Основная фракция определяет шлифующую способность абразива; мелкая фракция не оказывает практически никакого влияния на обрабатываемую поверхность; крупная фракция определяет шероховатость обрабатываемой поверхности. Условное обозначение зернистости алмазных шлифпорошков и микропорошков устанавливается по крупности зерен ос-

3.2. Классификация алмазных порошков на группы

Группа зер- нистости	Условное обозна- чение зер- нистости	Размер основ- ной фракции, мкм	Область применения
Шлифо- порошки	630/500	500	Изготовление алмазного инструмента. Грубое и среднее шлифование, распиливание, сверление и кругление деталей. Шероховатость обработанных поверхностей $R_z 160 - R_a 2,5$ мкм
	500/400	400	
	400/315	315	
	315/250	250	
	250/200	200	
	200/160	160	
	160/125	125	
	125/100	100	
	100/80	80	
	80/63	63	
Микропо- порошки	63/50	50	Для алмазного инструмента и паст. Среднее и мелкое шлифование поверхностей, доводка, центрирование. Шероховатость обработанных поверхностей $R_a 2,5 - R_a 0,04$ мкм
	50/40	40	
	60/40	60—40	
	40/28	40—28	
	28/20	28—20	
	20/14	20—14	
	14/10	14—10	
	10/7	10—7	
	7/5	7—5	
	5/3	5—3	
Субмикро- порошки	3/2	3—2	Обработка деталей из германия, кремния, кварца, рубина. Доводка поверхностей деталей из металла и керамики
	2/1	2—1	
	1/0	Не ме- нее 95%	
	0,7/0	0,7—0,3	
	0,5/0	0,5—0,1	
	0,3/0	до 0,3	

новой фракции порошка, составляющей не менее 65—70% состава. Каждая группа зернистости может содержать до 5—15% более крупной фракции. Например, шлифпорошок 200/160 состоит на 70% из зерен размером 160 мкм и до 15% из мелких зерен. Основная фракция субмикропорошков содержит соответственно 50, 60, 99% состава, число зерен крупной фракции не более 1%. Алмазные порошки с размером зерна менее одного микрометра называют субмикронниками.

Детали из оптического стекла шлифуют водными суспензиями абразивных порошков. Концентрации суспензий выражают соотношением весовых количеств жидкой (вода) и твердой (абразив) фаз и условно обозначают Ж:Т. Обычно отношение Ж:Т принимают от 2 до 5.

Алмазные пасты. Пасты (табл. 3.3) из синтетических алмазов применяют на доводочных операциях изготовления деталей из кристаллов, полупроводниковых материалов и металлов. Условное

3.3. Алмазные пасты

Группа зернистости	Классы шероховатости	Концентрация алмазного порошка, %, не менее		Цвет пасты и этикетки
		Н (нормальная)	П (повышенная)	
60/40 40/28	8—9 9—10	7	14	Красный
28/20 20/14 14/10	9—10 10—11 10—11	7 5 5	14 10 10	Голубой
10/7 7/5 5/3	11—12 12—13 12—13	3 3 2	6 6 4	Зеленый
3/2 2/1 1/0	13	2 1 1 и мельче	4 2 2	Желтый

обозначение паст включает в себя группу и зернистость синтетического алмаза, шифр концентрации, маркировку смываемого вещества и консистенции пасты. Например, паста алмазная АСМ 28/20НОМ — паста из синтетического алмазного микропорошка АСМ зернистостью 28/20, нормальной концентрации Н, смываемая органическим растворителем О, мажеобразной консистенции М. Кроме того, буквой В обозначают водорастворимые пасты, буквами ВО — пасты, смываемые водой и органическими растворителями, буквой Т — пасты твердой консистенции.

Абразивные материалы для полирования. Материалы, используемые для полирования, — это суспензии мелкокристаллических порошков окислов некоторых металлов. Детали из особо твердых материалов, некоторых кристаллов и металлических сплавов полируют пастами, содержащими алмазные порошки.

Общее требование к полирующим материалам заключается в хорошей смачиваемости жидкостью, высокой полирующей способности и отсутствии на обрабатываемой поверхности детали дефектов в виде царапин и налетов. Царапины часто наносятся на поверхность частицами или зернами твердых инородных материалов, засоряющих полировальный порошок. Неоднородность химического состава полирующего абразива может стать причиной появления налетов. Полирующую способность полировального материала оценивают массой стекла в миллиграммах, сполитрованной в единицу времени с пластины Ø 75 мм из стекла К8 в стандартных условиях. Полирующая способность порошков находится в диапазоне от 15 до 50 мг, ниже приведена относительная полиру-

ющая способность наиболее распространенных полирующих материалов:

Окись хрома	0,5
Крокус	1,0
Полирит	1,5
Окись тория	2,2
Окись церия	2,0

Полирит — порошок окислов редкоземельных элементов светло-коричневого цвета, на 50% состоящий из окиси церия. Зерна порошка в виде удлиненных (около 5 мкм) пластинок легко дробятся, образуя остроугольные осколки. Твердость полирита по минералогической шкале составляет 6,0—7,0. Полирит — основной полирующий материал для деталей из стекла.

Крокус — порошок безводной окиси железа, имеющий цвет от ярко-красного до темно-вишневого. Крокус получают осаждением солей железа из раствора с последующим обжигом, промывкой и сушкой. Зерна крокуса имеют округлую форму размером около 1,0 мкм; твердость по минералогической шкале 5,0—6,0; в настоящее время в производстве оптических деталей применяют редко из-за невысокой полирующей способности.

Окись хрома — порошок зеленого цвета; размеры его зерен 0,8—1,2 или 0,3—0,4 мкм зависят от способа получения; твердость по минералогической шкале 9,0; применяют для полирования деталей из кристаллов и металлов, менее хрупких и твердых, чем стекло. Окись хрома в виде паст, известных как пасты ГОИ, используют для доводочных и притирочных работ в инструментальной промышленности.

Алмазные микропорошки (зернистостью 3/2—1/0) и субмикропорошки (0,7/0 и 0,3/0) в виде порошков и паст применяют для полирования деталей из кристаллов рубина, сапфира, кремния и других особо твердых материалов и металлов. Другие упомянутые выше полирующие материалы, несмотря на высокую полирующую способность, применяют редко из-за их высокой стоимости.

3.2. Вспомогательные материалы

Технологический процесс изготовления оптических деталей сопровождается использованием большого числа вспомогательных материалов для смазки и охлаждения зоны обработки, наклеивания заготовок при круглении, шлифовании, полировании, защиты от случайных царапин и других дефектов ранее полированных поверхностей, промывки и протирки деталей и т. д.

Смазочно-охлаждающие жидкости. Процесс механической обработки оптических деталей (шлифование, кругление, полирование) сопровождается выделением тепла и продуктов обработки («шлама»), что снижает производительность труда, сокращает

срок службы инструмента, ухудшает качество обработанной поверхности.

Отвод тепла и продуктов обработки, а также уменьшение трения в зоне контакта инструмента и детали осуществляют применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Для алмазного инструмента и абразивных кругов эффективно используют СОЖ, состоящую из эмульсола (отходов производства масел), керосина и воды. В состав эмульсии часто вводят кальцинированную соду, способствующую очистке режущих кромок инструмента от продуктов обработки. При некоторых операциях алмазной обработки, особенно при обработке налетоопасных стекол, применяют СОЖ в виде веретенного и вазелинового масел. Масла в качестве СОЖ увеличивают срок эксплуатации инструмента и позволяют вести обработку на более интенсивных режимах. Хорошими свойствами обладают СОЖ на основе водных эмульсий (эмульсола), в состав которых вводят химические соединения сульфокислоты, тринатрийфосфат и глицерин. При шлифовании оптических стекол свободным абразивом роль СОЖ выполняет сама водная абразивная суспензия, а при полировании — водная полировальная суспензия.

Материалы для блокирования. Для закрепления заготовок на станочных приспособлениях при шлифовании и полировании необходимы наклеечные материалы, которые должны обладать достаточной адгезией к материалам заготовок и приспособлений, не деформировать их при наклеивании, не вступать в химическое взаимодействие с материалами заготовок, приспособлений, смазочно-охлаждающими жидкостями и абразивами, обладать достаточной термопластичностью; легко отставать от заготовок и приспособлений после обработки.

Наиболее широко применяют различные наклеечные и полировочные смолы (табл. 3.4), гипс и другие материалы, в достаточной мере удовлетворяющие перечисленным требованиям.

Наклеечные и полировочные смолы — это сплавы веществ, взятых в заданном соотношении для получения необходимой вязкости. Ниже перечислены вещества, входящие в состав наклеечных и полировочных смол.

Канифоль — продукт переработки сосновой смолы (живицы); стекловидная прозрачная светло-желтого или оранжевого цвета масса; температура размягчения 65—80°С; хорошо растворяется в органических растворителях, обладает высокой клеящей способностью, поэтому от 20 до 90% входит в состав всех наклеечных и полировочных смол. Смолы с большим содержанием канифоли обладают большей твердостью и более высокой температурой размягчения.

Пек древесный — продукт переработки дегтя хвойных пород деревьев (вар); мягкая и эластичная масса черного с коричневым оттенком цвета; температура размягчения 50—60°С; хорошо растворяется в бензине и ацетоне; входит в состав всех смол в качестве пластификатора для придания им эластичности и понижения вязкости.

3.4. Наклеечные и полировочные смолы

Смола		Рабочая температура, °C	Область применения
Тип	Марка		
Наклеечная	CH-1	15—20	Склейка заготовок в столбик и наклейка пластин (1-я сторона) Наклейка пластин (2-я сторона), центрирование Наклейка зеркал и призм в приспособления
	CH-4		
	CH-5		
Наклеечная	CH-6-2	20—25	Жесткое крепление линз Склейка заготовок призм в столбики, как полировочная Эластичное крепление линз до Ø 20 мм То же, для линз различных диаметров
	CH-8		
	CH-11	30—35	
	CH-12		
Полировочная	СП-1	15—20	Изготовление полировальных Изготовление полировальных, пропитка прокладок То же
	СП-5	25—30	
	СП-6	30—35	
	СП-7	35—40	

Воск пчелиный — мягкое желтого цвета кристаллическое вещество; температура плавления около 65°С; хорошо растворяется ацетоном, бензином, устойчиво к действию кислот, в том числе плавиковой. Воск от 3 до 75% вводят в состав некоторых смол для увеличения пластичности смол.

Парафин — продукт переработки нефти; белая или желтоватая мелкокристаллическая масса; температура размягчения 38—65°С; растворяется в бензине, ацетоне, эфире. Технический высокоочищенный парафин марок А и Б применяют для наклейки деталей в основном на заготовительных операциях.

Шеллак (естественная смола) — продукт биологической деятельности насекомых на ветвях тропических деревьев; поступает в оптическое производство в виде тонких пластин коричневого цвета; температура плавления около 90°С; растворяется щелочами, спиртом. Шеллак от 40 до 50% вводят в состав некоторых смол для повышения механической прочности; применяют для склеивания ответственных деталей и изготовления особо прочных смол.

Процесс приготовления смол сводится к получению однородной массы сплавлением исходных компонентов с последующим введением наполнителей. Наполнители (мел, тальк, гипс, древесные опилки) в мелкоизмельченном просеянном виде добавляют для увеличения прочности и уменьшения усадки наклеечных смол. Смолы варят в специально оборудованном помещении с приточной

вентиляцией в вытяжных шкафах. Все смолы после варки аттестуют с заключением о пригодности к работе.

В оптическом производстве часто используют так называемый жесткий способ блокирования заготовок линз. В этом случае заготовки линз приклеивают на приспособления с помощью пропитанных смолами прокладок из ткани (ситца, батиста, марли). На специальных машинах ткань пропитывают расплавленной смолой, пропускают через обжимные валики, высушивают и вырубают из нее кружочки по размеру заготовки. Для пропитки тканей используют смолы СП-1 — СП-7.

Кроме перечисленных смоляных смесей в оптическом производстве используют и другие вспомогательные материалы для крепления заготовок, состав и технологические свойства которых приведены ниже.

Наклеечные воски — сплавы канифоли (80—90%) и воска (20—40%), обладающие высокой вязкостью. Достоинством этого состава является малая толщина клеящего слоя (0,2—0,3 мм). Наклеечные воски используют для склеивания заготовок между собой и крепления их на приспособлениях при заготовительных операциях.

Наклеечные парафины — сплавы парафина (15—20%) и воска (85—80%), обладающие высокой пластичностью и вязкостью. Этот состав позволяет доводить толщину клеящего слоя до 0,05—0,1 мм; используют на заготовительных операциях.

Сплавы металлов с низкой температурой плавления, например сплав Вуда, состоящий из 50% висмута, 25% свинца, 12,5% олова, 12,5% кадмия. Достоинством таких сплавов является низкая температура плавления (60—90°С), что позволяет легко закреплять и раскреплять заготовки, например, погружением приспособления с заготовками в горячую воду. К достоинствам сплавов относят также отсутствие потерь сплавов при закреплении и раскреплении, операции промывки заготовок и приспособлений растворителями, многократное использование сплавов. Сплавы используют и в производстве очковых линз.

Гипс — мелкозернистый порошок, полученный обжигом вещества минерального происхождения (двуводного гипса). Использование гипса для крепления заготовок основано на свойстве его водных растворов через некоторый промежуток времени затвердевать и надежно удерживать заготовки силами трения и адгезии. При затвердевании гипсовые растворы увеличиваются в объеме, поэтому для предотвращения этого явления в гипс добавляют 6—8% цемента, который, затвердевая, уменьшается в объеме. Водный раствор гипса с цементом затвердевает за 4—6 ч в зависимости от количества цемента в гипсе. Разъединение заготовок от приспособления осуществляют скалыванием гипсовой связи. Гипс используют для закрепления призм перед мелким шлифованием и полированием.

Материалы полировальников. Обработывающие поверхности полировальников выполняют нанесением или присоединением к ме-

таллическим основам инструмента подложек — смоляных (см. табл. 3.4), суконных, из синтетических веществ или материалов.

Для сохранения стабильной формы рабочей поверхности смоляного полировальника в полировочные смолы СП-1—СП-4 часто вводят в качестве наполнителя полирит в отношении 1:1 или 1:2, а в смолы СП-4—СП-7 — вываренные древесные опилки в количестве 5—10%. Смоляные полировальники позволяют получать наиболее точные поверхности оптических деталей, но использовать неинтенсивные режимы обработки.

Технические шерстяные ткани или фетр используют для изготовления суконных полировальников. Ткань на металлическую основу инструмента приклеивают смолой и сушат под давлением с формовкой обрабатывающей поверхности вспомогательным инструментом. Требуемая форма обрабатывающей поверхности задается формой металлической основы инструмента. Суконные полировальники допускают интенсивные процессы полирования, обеспечивающие высокую оптическую чистоту обрабатываемых поверхностей, но используются для изготовления поверхностей с низкими требованиями к точности формы.

Синтетические вещества с микропористой структурой, например полиуретан, наклеивают на металлическую основу инструмента специальным клесм, стойким к промывочным жидкостям и суспензиям. Температура плавления клея должна быть ниже температуры плавления полиуретана. Толщину полиуретана выбирают в зависимости от требований к точности формы изготавливаемой поверхности. Достоинством полировальников с подложками из синтетических веществ является хорошая смачиваемость их поверхности полирующими составами, в частности, для полиуретана окисью церия, высокая износостойкость, значительное сопротивление растягивающим усилиям, теплостойкость. Эти свойства позволяют вести обработку при интенсивных режимах.

Материалы защитных покрытий. Для предохранения полированных поверхностей от механических повреждений при последующей обработке используют защитные покрытия. Они должны иметь хорошую адгезию к оптическим деталям; химически не взаимодействовать с материалом детали, смолами, абразивами; образовывать однородную равномерную пленку при высыхании; легко смываться после обработки.

В оптическом производстве используют защитные покрытия лаками, эмалями и шеллаком. Тип покрытия или марку лака, эмали выбирают в зависимости от вида выполняемой операции, материала заготовок, способа соединения заготовок с приспособлениями. Наиболее распространена для защиты полированных поверхностей заготовок, блокируемых на смоляных составах, нитроэмаль НЦ-25. Эту же эмаль используют и для защиты мест соединения по периметру заготовок на приспособлении при контактной блокировке. Для этих же целей применяют лак цапон. Поверхности гигроскопических кристаллов и химически нестойких стекол защищают лаком Ф-32Л. Вспомогательные поверхности оптических дета-

лей для улучшения эксплуатационных свойств (устранения бликов, уменьшения светорассеяния), защиты фасок от механических повреждений покрывают черными матовыми эмалями ХС-1107 или ПФ-163. Серебряные зеркала с внутренним зеркальным слоем защищают меднением с последующим нанесением бакелитового лака. Перед защитой поверхности заготовок и деталей тщательно промывают, сушат. Лаки и эмали наносят окунанием, кистью или пульверизатором.

Промывочные и протирочные материалы. В процессе механической обработки заготовку оптической детали многократно промывают и чистят. Оптические детали чистят при контрольных операциях, нанесении покрытий, склейке. Для этих целей применяют промывочные жидкости и растворители. Они должны хорошо растворять загрязнения, не вступать во взаимодействие с материалом оптической детали и не оставлять налетов, быть нетоксичными.

Воду водопроводную комнатной температуры применяют для удаления абразивов после операций шлифования и полирования.

Щелочные водные растворы (холодные или горячие) служат для промывки заготовок и приспособлений от наклеечных смол, парафинов, воска после операций кругления и шлифования, применяют 5—10%-ные растворы едких калия, натрия или соды кальцинированной.

Органические растворители бензин, ацетон, спирт, эфир и их смеси используют для удаления наклеечных смол, защитных лаков, жировых загрязнений после полирования, перед операциями контроля, нанесения покрытий и склейки.

Бензин Б-70 применяют для удаления следов воска, пека, канифоли, жировых загрязнений. Отработанный бензин регенерируют при температуре нагрева 185°С.

Ацетон технический используют для растворения смол, защитных лаков, нитроэмалей, канифоли. Отработанный ацетон регенерируют при нагреве до 55°С.

Спирт этиловый гидролизный предназначен для растворения шеллака, спиртовых лаков.

Этиловый спирт-ректификат применяют для промывки и чистки деталей от жировых загрязнений на ответственных операциях, при контроле деталей, нанесении покрытий, склейке.

Эфир петролейный и эфир этиловый используют самостоятельно и в смесях со спиртами для чистки полированных поверхностей деталей перед нанесением покрытий и при сборочно-юстировочных работах.

Промытые после шлифования заготовки протирают салфетками из бязи, после полирования — белыми салфетками из фланели, батиста, льняного полотна. Перед нанесением покрытий и склейкой детали промывают и чистят обезжиренными гигроскопической ватой и салфетками из батиста. Протирочные материалы (салфетки) для менее ответственных операций простиравают. Окончательную чистку полированных поверхностей, а также чистку перед нанесением покрытий, склейкой проводят обезжиренными выглаженными

салфетками. При чистке салфетки не должны оставлять на поверхностях царапин, ворсинок, жировых следов. Пылинки удаляют беличьими или колонковыми кисточками.

3.3. Оптические клеи

Клеи для соединения оптических деталей друг с другом в блоки должны иметь максимальную прозрачность; высокую оптическую однородность; близость показателей преломления и спектральных характеристик клея и соединяемых деталей. Технологические характеристики клея и их влияние на качество клеевого соединения приведены ниже.

Устойчивость к механическим воздействиям, пластичность и толщина слоя клея влияют на механическую прочность клеевого соединения блока деталей. При недостаточной механической прочности клеевого соединения в процессе сборки и установки блока деталей могут возникнуть под действием сжимающих усилий оправы деформации деталей, частичное или полное разрушение клеящего слоя.

Коэффициенты температурного расширения, пластичность, толщина слоя клея характеризуют морозостойкость клеевого соединения. Морозостойкость клеевого соединения оценивают по способности соединенных деталей выдерживать охлаждение до заданных отрицательных температур без видимых разрушений клеящего слоя. Морозостойкость клеевого соединения зависит также от формы, размеров и свойств соединяемых деталей.

Температура размягчения и толщина слоя клея характеризуют теплостойкость клеевого соединения. Теплостойкость клеевого соединения оценивают по способности клея предотвращать относительное смещение соединенных деталей при заданных положительных температурах. Низкая теплостойкость вызывает относительное смещение деталей, нарушает их соосность.

Низкая влагостойкость и недостаточная химическая стойкость клея приводят к дефектам клеевого соединения и к появлению расклеенных участков на соединенных поверхностях. Такие дефекты возможны как в процессе склеивания, так и в дальнейшем при промывке склеенных деталей растворителями или под воздействием влаги. Клеевое соединение по влагостойкости характеризуют способностью его без разрушения выдерживать воздействие относительной влажности 98% при 40°С в течение определенного времени.

Клеи (табл. 3.5) готовят в химических лабораториях оптических цехов в потребных количествах с учетом жизнеспособности клея. При изготовлении клея, так и впоследствии при склеивании в помещениях лабораторий и рабочих мест предъявляют повышенные требования по чистоте и минимальной запыленности. В 5 см³ клея допускается не более 10 пылинок или ворсинок, видимых при наблюдении с шестикратным увеличением в сходящемся пучке света на темном фоне.

3.5. Оптические клеи

Марка клея	Диапазон рабочих температур, °С	Влагостойкость при влажности 98% и $t=40^{\circ}\text{C}$, сут	Механическая прочность на разрыв, 10^{-5} Па	Жизнеспособность клея при 20°C , ч	Показатель преломления
Бальзам пихтовый типов О и ОП	+ (30—50) — (40—60)	5	40	До 8 (расплав)	1,53
Бальзамин	+60 ÷ —60	8—10	40	3	1,518
Бальзамин М	+110 ÷ —90	6—8	40	0,65	1,518
ОК-50П	+130 ÷ —170	7—10	100	0,65	1,58
ОК-72ФТ	+140 ÷ —170	70—80	100	0,65—0,9	1,555
ОК-60	+150 ÷ —60	не стоек	35	Не ограничена	1,515
УФ-235М	+50 ÷ —60	более 30	40	»	1,462
Акриловый	+80 ÷ —60	5—7	100	Не ограничена при герметизации	1,486

Бальзам — естественная смола (живица) пихтовых деревьев, прозрачная, желтого цвета, в состав которой входят скипидар, камфоль, летучие эфирные масла. Подготовка клея заключается в растворении живицы в этиловом спирте, промывке водой, сушке, фильтровании и сгущении увариванием. В процессе этих операций удаляются кислоты и получается необходимая твердость клея. В оптическом производстве используют бальзам двух типов: обычный — О и пластифицированный — ОП. Для повышения пластичности в клей добавляют в качестве пластификаторов льняное, туковое, вазелиновое масла. Введение пластификаторов увеличивает морозостойкость клеевого соединения до -60°C .

В нормальных условиях бальзам — это твердое вещество. Количественно твердость бальзама оценивают числом пенетраций. Это выраженная в сотых долях миллиметра глубина вхождения иглы специального прибора (пенетromетра) в вещество при определенных условиях его испытаний. По твердости бальзамы маркируют на весьма твердые ВТ с числом пенетраций 3 и 8, твердый Т с числом пенетраций 15 и 25, средний С с числом пенетраций 35, 45 и 55, мягкий М с числом пенетраций 70, 90, 110 и весьма мягкий ВМ с числом пенетраций 130, 155, 185, 225 и 300. Условно в примечаниях чертежей на склеивание отмечают, например, «Склеить бальзамом пихтовым типа ОП С45 по ГОСТ...» Все марки бальзама, кроме ВТ, могут быть как типа О, так и типа ОП. Бальзам ВТ выпускают только типа О. В лаборатории клей расфасовывают в пробирки, тщательно закрывают и хранят.

Жизнеспособность клея в расплавленном состоянии не более 8 ч, в твердом состоянии от 6 месяцев и больше. Клей используют для соединения деталей, точное центрирование которых обеспечивают индивидуальным креплением и фиксацией в оправках, для склеивания шкал и сеток с фотослоем. К основным положительным качествам бальзама относят значительную жизнеспособность, способность выдерживать большое число расплавлений без изменения свойств, возможность уменьшения деформаций клеевого соединения отжигом. Основные недостатки — незначительный температурный интервал ($+40^{\circ}\text{C} \div -50^{\circ}\text{C}$), невысокая влагостойкость и малая прозрачность в ультрафиолетовой области спектра. Эти недостатки ограничивают применение бальзама для склеивания деталей.

Б а л ь з а м и н — синтетическое вещество, прозрачная бесцветная жидкость. Под действием света и при повышенной температуре клей самопроизвольно полимеризуется (затвердевает) и приходит в негодность. Бальзамин используют для склеивания оптических деталей, подвергающихся в условиях эксплуатации вибрациям, механическим нагрузкам, перепадам температур.

Основные недостатки бальзамина — деформирование оптических деталей, некоторая оптическая неоднородность, значительная потеря прозрачности при нагреве выше 75°C , а также сложность разъединения склеенных деталей. Детали приборов с повышенным требованием к качеству изображения бальзаминном не склеивают.

Б а л ь з а м и н-М — синтетическое вещество, прозрачная бесцветная жидкость. Характеристики клея такие же, как бальзамина, лишь теплостойкость его доходит до $+110^{\circ}\text{C}$. Клей оптически однороден. Жизнеспособность клея не более 40 мин. Достоинством бальзамина-М является то, что он повышает производительность склеивания. Полная полимеризация и, следовательно, выход готовой продукции наступает в течение суток при нормальной температуре. Процесс можно ускорить, нагревая склеенные детали до $60\text{—}80^{\circ}\text{C}$ в течение 5 ч с последующей выдержкой при нормальной температуре в течение 1 ч. Клей не деформирует оптические детали; может применяться для соединения деталей с повышенным качеством изображения.

К л е й ОК-50П — синтетическое вещество, прозрачная жидкость слабо-желтого цвета, полимеризуется при комнатной температуре. Для придания склеиваемому слою повышенной влагостойкости и механической прочности соединяемые детали прогревают при температуре $+60^{\circ}\text{C}$ в течение 3—5 ч. Клей используют для склейки деталей, работающих во влажном тропическом климате; несущих механическую нагрузку, например, консольно подвешенных; с оптическими покрытиями.

К л е й ОК-72ФТ близок по свойствам и составу клею ОК-50. Клей не деформирует детали после нагрева до $60\text{—}80^{\circ}\text{C}$ и охлаждения их до -60°C . Клеем склеивают детали, предназначенные для работы на севере, в сухих и влажных тропиках. Этими же кле-

ями герметизируют межфасочные пространства деталей, склеивают тонкие пластины, детали с оптическими покрытиями.

К недостаткам клеев ОК-50П, ОК-72ФТ относят токсичность, малую жизнеспособность, сложность расклеивания. Работы с этими клеями должны проводиться в резиновых перчатках на хорошо вентилируемых рабочих местах.

Клей ОК-60 — синтетическое вещество, прозрачная жидкость слабо-желтого цвета, токсичен, не влагостоек. Оптические поверхности клей не деформирует. Склеенные в вытяжном шкафу детали сушат при нормальной температуре в течение суток с последующим нагревом до 100—120°С в течение нескольких часов. Клей удаляют растворителем. Клей прозрачен в области спектра до 8 мкм и предназначен для склеивания оптических деталей из флюорита, бромистого калия и других кристаллов, прозрачных в инфракрасной области спектра.

Клей УФ-235М — синтетическое бесцветное, прозрачное, студенистое вещество, влагостоек. Соединяемые детали нагревают до 60°С, а клей до 100°С для удаления из него пузырьков воздуха. Сушат клеевое соединение в течение нескольких суток при 75—95°С. Клей используют для соединения деталей из стекол, кристаллов, предназначенных для работы в ультрафиолетовой области спектра от 220 нм. Детали можно расклеивать выдерживанием их в этиловом спирте или нагревом до 120°С.

Акриловый клей — синтетическое вещество, прозрачная бесцветная жидкость. Соединенные акриловым клеем детали длительно сушат при 50—90°С. Клей имеет значительную усадку. При высыхании без нагревания практически не деформирует поверхности линз. Клей применяют для склеивания деталей диаметром до 30 мм из силикатных стекол всех марок, поляризационных призм из кальцита, поляроидов, светофильтров, а также можно использовать для соединения стекла с металлом.

В оптическом производстве используют и другие клеи, например, ОК-90П, ММА, УФ-215, ТКС. Однако их широко не применяют, поэтому их свойства не рассматриваются.

Все указанные оптические клеи плесневелыми грибами не поражаются, т. е. ими можно склеивать оптические детали приборов, работающих в тропиках.

3.4. Материалы покрытий и технологической оснастки вакуумных установок

На оптические поверхности деталей наносят однослойное или многослойное покрытие из металлов и диэлектриков, которые существенно изменяют свойства и оптические характеристики деталей.

Материалы покрытий. В настоящее время в оптическом производстве используют несколько десятков исходных материалов для покрытий. Этим материалам присвоены условные цифровые обозначения, используемые при записи в чертежах (табл. 3.6). Для

3.6. Материалы покрытий

Материал	Условное обозначение	Способ нанесения и его условное обозначение	Материал	Условное обозначение	Способ нанесения и его условное обозначение
Алюминий	1	Испарение в вакууме И	Серебро	25	Осаждение из раствора Р
Золото	2		азотно-кислое		
Никель	4		Торий азотно-кислый	30	
Серебро	8		Кремневый эфир	43	
Хром	9		Титановый эфир	44	
Титан	15		Смесь титанового и кремневого эфиров	45	
Теллур	17				Электролиз Е
Стронций фтористый	18		Медь	3	
Магний фтористый	24		Палладий	5	
Сурьма трехсернистая	27		Фосфорнокислый аммоний	21	
Цинк сернистый	29				Травление Т
Моноокись кремния	31		Азотная кислота	61	
			Уксусная кислота	63	
Парафин	84	Нанесение из расплава Н			Кистью, пульверизатором П
Воск	85		Лак бакелитовый	72	

изготовления покрытий используют химически чистые материалы без каких-либо примесей.

Алюминий — мягкий металл серебристо-белого цвета; для образования покрытий его испаряют в вакууме. Неудачно нанесенное покрытие из алюминия легко снимают обработкой в растворах щелочей. Покрытие нестойко к влажной атмосфере, механически непрочное. Эти характеристики улучшаются при окислении поверхности зеркал и нанесении тонкого слоя Al_2O_3 . Защищенные пленкой Al_2O_3 алюминиевые зеркала с внешним отражением имеют коэффициент отражения 83—85%.

Серебро — мягкий металл серебристо-белого цвета; для образования покрытий его испаряют в вакууме или восстанавливают из растворов солей. Неудачно нанесенное покрытие легко снимают обработкой в растворе азотной кислоты. Покрытие нестойко к влажной атмосфере, механически непрочное. Светоделительные покрытия защищают приклеиванием стеклянной детали. При изготовлении зеркал внутреннего отражения серебро защищают анодным нанесением пленок меди или никеля с последующим распылением из пульверизатора слоя бакелитового лака. Зеркала имеют коэффициент отражения до 95—98%.

Хром — твердый металл серебристо-серого цвета; для образования покрытий испаряют в вакууме. Покрытие стойко к влажной атмосфере и механически прочно; применяют для изготовления стойких светоделителей и зеркал; имеет значительные световые потери — в светоделителях поглощает до 30% света при равных коэффициентах пропускания и отражения. Зеркала с таким покрытием имеют коэффициент отражения около 55%.

Кремневый эфир — прозрачный 3—40%-ный раствор этилового эфира ортокремневой кислоты, имеет показатель преломления около 1,38, зависящий от концентрации раствора. Приготовление раствора и нанесение покрытий осуществляют в особо обеспыленных помещениях оптических цехов. Приготовленный раствор длительному хранению не подлежит. В виде пленки SiO_2 применяют для изготовления одно- и многослойных просветляющих и других видов покрытий.

Титановый эфир — прозрачный спиртовой 2—15%-ный раствор этилового эфира ортитановой кислоты; имеет показатель преломления около 1,51, зависящий от концентрации раствора. Раствор приготавливают в химических лабораториях оптических цехов. В виде пленки TiO_2 используют как чередующееся вещество в паре с кремневым эфиром для изготовления многослойных просветляющих и других видов покрытий. Способ изготовления пленок SiO_2 и TiO_2 называют химическим нанесением покрытий гидролизом спиртовых растворов ортокремневого и ортитанового эфиров.

Сернистый цинк — порошкообразное вещество желтого цвета, при испарении в вакууме образует пленки ZnS с показателем преломления 2,3. Для получения качественных покрытий необходима предварительная обработка вещества — брикетирование и прокаливание брикетов в вакууме при температурах возгонки. Испарение вещества происходит непосредственно из твердой фазы. Приготовленное для испарения вещество хранят в тщательно закрытых или запаянных сосудах. Сернистый цинк применяют для нанесения многослойных покрытий оптических деталей.

Фтористый магний — порошкообразное вещество белого цвета; при испарении в вакууме образует пленки MgF_2 с показателем преломления 1,39. Для получения качественных покрытий необходима предварительная обработка — брикетирование (или гранулирование) и прокаливание брикетов (или гранул) при температурах, близких к температурам испарения. Приготовленное для испарения вещество хранят в тщательно закрытых или запаянных сосудах. Фтористый магний применяют для нанесения однослойных просветляющих и многослойных покрытий различных видов.

Материалы технологической оснастки вакуумных установок. Эти материалы должны обладать вакуумной герметичностью при малой толщине стенки, наименьшим газовыделением и легкостью удаления газов, хорошей механической обрабатываемостью, коррозионной стойкостью.

Газы обладают способностью не только удерживаться на поверхности различных материалов, но и проникать внутрь их через поры структур. Чем меньше шероховатость поверхности, тем легче и быстрее выделяются газы с поверхности. Коррозия металлов увеличивает газовыделение в вакууме. Для элементов вакуумных систем и технологической оснастки рекомендуется применять металлы с уплотненной структурой, т. е. поковки, прокат, штамповки, а также коррозионно-стойкие легированные металлы, стали с покрытиями из хрома и никеля. Стали Ст3, 10, 20, 45, 65Г применяют при давлениях не ниже $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па, а стали 40Х, 1Х13 и другие нержавеющие хромистые стали — при давлениях ниже $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па.

Ковар — железоникелевый сплав, в котором никель частично замещен кобальтом, широко применяют для соединения пайкой или сваркой металла со стеклом. Поверхность коваровой детали, соединяемой пайкой с другой деталью, предварительно покрывают медью.

Никель используют для изготовления держателей деталей внутренней арматуры, тоководов, прокладок для уплотнения фланцев, работающих при более 500°C и давлениях ниже $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па, а также в качестве материала для покрытий деталей.

Вольфрам предназначен в виде фольги или проволоки для изготовления различных испарителей и нагревателей. Перекаленный в низком вакууме вольфрам хрупок и легко разрушается.

Молибден применяют для изготовления держателей вольфрамовых спиралей и нитей накаливания, нагревателей и тоководов; в виде испарителей используют реже из-за более низкой температуры плавления, чем у вольфрама, и взаимодействия с некоторыми испаряемыми веществами.

Тантал служит для изготовления нагревателей, экранов; обладает поглощающим действием: при 600°C активно поглощает кислород, азот, водород, однако при 800°C выделяет их.

Титан применяют в тех же целях, что и тантал; при 400°C поглощает водород, при 800°C кислород, азот, углекислый газ, водяной пар. В некоторых случаях титан используют в виде тонких пленок как покрытие оптических деталей.

Медь марок М0, М1 предназначена для изготовления деталей корпусов, трубопроводов, вакуумных емкостей, штуцеров, прокладок, работающих от -250°C до $+600^{\circ}\text{C}$ и давлениях не ниже $1,33 \cdot 10^{-8}$ Па.

Латунь Л62 применяют для деталей, не подвергающихся в процессе работы нагреву более 250°C и давлениях не ниже $1,33 \cdot 10^{-5}$ Па.

Бронзу БР, Б2 используют для мембран, сильфонов и деталей подвижных соединений, работающих до $+700^{\circ}\text{C}$ и давлениях не ниже $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па.

Алюминий предназначен для изготовления паропроводов диффузионных высоковакуумных насосов, электроводов, отражателей, прокладок, работающих до $400-500^{\circ}\text{C}$. Детали технологи-

ческой оснастки вакуумных камер выполняют из алюминия марок АД1, АД, Д1, Д16, АМЦ.

Резину 7889 белую немаслостойкую выпускают в виде трубок, пластин, шнуров. Резина обладает значительным газовыделением, поэтому ее ставят в виде трубок в низковакуумные системы установок, используют для герметизации соединений. При воздействии масла или его паров резина набухает, сильно выделяет газы и разрушается, условия работы от -30°C до $+90^{\circ}\text{C}$, при давлении не ниже $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па.

Резина 9024 черная маслостойкая отличается от белой меньшей прочностью на разрыв и значительно большей стойкостью к набуханию от масла; применяют в виде литых колец, манжет или шнуров круглого или квадратного сечения. Существуют марки резины НРП-2044, 1015, 14Р-23, пригодные для работы при более 100°C .

Фторопласт Ф-4 применяют для прокладок, изоляторов, работающих при давлениях не ниже $1,33 \cdot 10^{-5}$ Па; химически стоек, имеет высокие электроизоляционные свойства, обладает гибкостью и не теряет свойств в диапазоне от -180 до $+250-300^{\circ}\text{C}$.

Вакуумные уплотнители служат для обеспечения герметичности; по механическим свойствам разделяют на вязкие и твердые. Вязкие уплотнители применяют для подвижных шлифованных разъёмных соединений, твердые — для неразъёмных неподвижных соединений, а также для временного предотвращения течи в вакуумных соединениях.

Вязкие уплотнители типа «вакуумная смазка» состоят из каучука, вазелинового масла, парафина и работают до 80°C и давлении $1,33 \cdot 10^{-6}$ Па. Апиэзонно-каучуковая смазка состоит из каучука, тяжелых углеводородов и работает до 200°C и давлений $1,33 \cdot 10^{-3}-1,33 \cdot 10^{-5}$ Па. Растворителями этих уплотнителей являются бензин и бензол.

Твердые уплотнители, такие, как битум, пчелиный воск, канифоль, скипидар, применяют для неподвижных соединений низковакуумных систем установок. Смесь шеллака, каучука и битума используют для временной заделки небольших течей.

Замазка на основе эпоксидных смол работает при температурах до $+100^{\circ}\text{C}$ и давлении до $1,33 \cdot 10^{-5}$ Па, служит для соединения деталей из стекла, керамики, металлов.

Технологическую оснастку вакуумных камер перед использованием в работе тщательно обезжиривают в ацетоне, бензине, этиловом и метиловом спиртах, трихлорэтилене. Последний применяют сравнительно редко из-за паров, вредных для здоровья.

Контрольные вопросы

1. Какие абразивные материалы используют при шлифовании и полировании?
2. Из чего состоят наклеечные и полировочные смолы?
3. Перечислите требования, предъявляемые к оптическим клеям.
4. Какие оптические клеи используют для соединения деталей?
5. Перечислите требования к материалам оснастки вакуумных установок.

III. КАЧЕСТВО ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ И МАТЕРИАЛОВ

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОПТИЧЕСКИМ ДЕТАЛЯМ

4.1. Требования к стеклу

Качество изображения, создаваемого оптическими деталями, находится в прямой зависимости от качества стекла. На рабочих чертежах оптических деталей эти требования записывают в специальную таблицу. Бесцветное оптическое стекло оценивают по следующим показателям, в зависимости от которых назначают категории и классы.

1. Предельные отклонения значений показателя преломления Δn_e и средней дисперсии $\Delta(n_{F'} - n_{C'})$, определенные для стекол каждой марки, оценивают по пяти категориям:

Категория	1	2	3	4	5
$\pm \Delta n_e \cdot 10^{-4}$	2	3	5	10	20
$\pm \Delta(n_{F'} - n_{C'}) \cdot 10^{-5}$	2	3	5	10	20

Причиной отклонений n_e и $n_{F'} - n_{C'}$ является неправильный массовый состав компонентов шихты при варке стекла. Так как заготовки стекла выпускают партиями, каждую из которых производят из стекла определенной плавки, то при этом оценивают еще и отклонение показателей Δn_e и $\Delta(n_{F'} - n_{C'})$ в пределах партии.

Однородность партии заготовок стекла по отклонению показателя преломления Δn_e определяют по четырем классам от А до Г, а по средней дисперсии $\Delta(n_{F'} - n_{C'})$ — по двум классам В и Г.

Класс	А	Б	В	Г
$\pm \Delta n_e \cdot 10^{-4}$	0,2	0,5	1,0	в пределах заданной категории
$\pm \Delta(n_{F'} - n_{C'}) \cdot 10^{-5}$	—	—	1,0	

2. Оптическая однородность стекла характеризуется постоянством показателя преломления по всему объему заготовки и оценивается двумя системами в зависимости от размеров.

Для заготовок размером не более 250 мм установлено пять категорий оптической однородности, характеризуемых разрешающей способностью при длине волны оптического излучения $\lambda = 0,55$ мкм. Разрешающую способность стекла определяют отношением угла разрешения ϕ коллиматорной установки, в параллельный пучок лучей которой введена заготовка стекла, к углу разрешения ϕ_0 самой установки.

Категория	1	2	3	4	5
Отношение ϕ/ϕ_0 , не более	1,0	1,0	1,1	1,2	1,5

Для стекла первой категории дополнительно оценивают дифракционное изображение точечной диафрагмы, которое должно состоять из круглого пятна, окруженного концентрическими кольцами без разрывов, хвостов и заметного на глаз отклонения от круга. Однако эта система оценки для крупногабаритных загото-

вок не позволяет судить о природе и размерах имеющихся в стекле неоднородностей и их расположении.

Для заготовок размером более 250 мм установлено также пять категорий оптической однородности, характеризующихся тремя коэффициентами: K_{Φ} , обусловленным неоднородностью показателя преломления, возникающей в процессе отжига стекла; ΔK , обусловленным асимметричным относительно оси заготовок расположением неоднородностей показателя преломления, возникающих в процессе отжига стекла; K_x , обусловленным неоднородностью показателя преломления, возникающей в процессе варки и разделки стекломассы.

3. Показатель ослабления ϵ_A (или μ_A) есть величина, обратная расстоянию, на котором поток излучения от источника типа А ослабляется в результате поглощения и рассеяния в стекле в 10 раз. Источник типа А представляет собой электрическую лампу накаливания мощностью около 100 Вт. Ослабление светового излучения в стекле зависит от наличия в нем вредных примесей. По показателю ослабления установлено восемь категорий:

Категория	1	2	3	4	5	6
$\epsilon_A[1/\text{см}]$	0,0002	0,0005	0,0010	0,0018	0,0026	0,0036
	—0,0004	—0,0009	—0,0017	—0,0025	—0,0035	—0,0045
Категория	7	8				
$\epsilon_A[1/\text{см}]$	0,0046	0,0066				
	—0,0066	—0,0130				

4. Двойное лучепреломление оценивают разностью хода в нанометрах на один сантиметр пути обыкновенного и необыкновенного лучей, на которые разделяется падающий луч под действием остаточных напряжений при прохождении через стекло в направлении наибольшего размера заготовки. По двойному лучепреломлению установлено пять категорий, которые определяют допустимую разность хода двух лучей:

Категория	1	2	3	4	5
Разность хода, нм/см	1,5—3	4—8	7—13	10—20	35—36

Двойное лучепреломление используют для оценки оптической однородности крупногабаритных заготовок. В заготовках деталей поляризационных приборов при просмотре в поляризованном свете в рабочем направлении не должны обнаруживаться просветленные участки. Двойное лучепреломление появляется из-за напряжений, возникающих в стекле при его охлаждении. Оно может быть значительно уменьшено отжигом стекла.

5. Бессвильность стекла характеризуется отсутствием свилей при определенных условиях просмотра. Свилы имеют форму нитей, лент, сложных потоков, вызванных недостаточным перемешиванием компонентов стекла в процессе его варки. Свилы снижают качество изображения, особенно от деталей, расположенных вблизи фокальных плоскостей оптической системы. Свилы в виде слоев вызывают астигматизм поверхности, т. е. отличие радиусов кривизны в различных сечениях. В местах выхода на поверхность узло-

вых или одиночных свилей возникают местные погрешности формы поверхности.

По бессвильности заготовки стекла подразделяют на две (1 и 2) категории, которые оценивают при просмотре свилей на установках, градуированных по контрольному образцу сравнения. В зависимости от числа направлений просмотра, в которых заготовка стекла должна соответствовать заданной категории, установлено два класса бессвильности: А — просмотр производят в двух взаимно перпендикулярных направлениях; Б — в одном направлении.

6. Пузырность стекла оценивают по наличию в нем замкнутых полостей, заполненных газом. Различные непрозрачные включения в виде камней, кристаллов приравнивают к пузырям. Установлено одиннадцать категорий, характеризующихся диаметром наибольшего пузыря, допускаемого в заготовке:

Категория	1	1а	2	3	4	5
Диаметр пузыря, мм	0,002	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5
Категория	6	7	8	9	10	
Диаметр пузыря, мм	0,7	1,0	2,0	3,0	5,0	

За диаметр пузыря удлиненной формы принимают размер, полученный как среднее арифметическое длин его наибольшей и наименьшей осей.

В зависимости от числа пузырей размером более 0,03 мм в одном килограмме стекла установлено семь классов пузырьности оптического стекла:

Класс пузырьности	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
Число пузырей	3	10	30	100	300	1000	3000

Оптическое бесцветное стекло следует изготавливать любых категорий, указанных в табл. 4.1; вторая цифра соответствует средним категориям для заготовок стекла, изготовленных партиями любых размеров.

4.1. Категории по маркам оптического стекла

Марка стекла	Δn_e	$\Delta(n_F' - n_C')$	Однородность	Двойное лучепреломление	ϵ_A	Бессвильность
ЛК7	1—4	1—3	2—3	2—4	5—6	2
К8	1—4	1—3	1—3	1—4	2—4	1—2
БК6	2—4	1—3	1—3	1—4	2—4	1—2
ТК2	1—4	2—3	1—3	1—4	3—4	1—2
КФ4	1—4	3—4	1—3	1—4	4—5	1—2
БФ12	1—4	2—4	1—3	1—4	3—5	1—2
ЛФ5	2—4	2—3	1—3	1—4	3—4	1—2
Ф1	2—4	2—4	1—3	1—4	2—4	1—2
ТФ5	2—4	2—4	1—3	1—4	3—5	1—2

В зависимости от назначения оптических деталей указывают применяемые для них предельные категории и классы оптического стекла (табл. 4.2).

4.2. Категории и классы по назначению оптических деталей

Оптические детали	Δn_e	$\Delta(n_F' - n_C')$	Однородность	Двойное лучепреломление	ϵ_A	Бес-свильность	Пузырность
Линзы объективов	1А — 2Б	1А — 2Б	2—3	1—3	4—5	1	5Г — 6Д
Линзы окуляров	3В	3В	3—4	3	6—7	2	2Б
Призмы	3В — 4В	1А — 3В	1—3	1—2	2—4	1—2	3В — 5Г
Сетки	4В	4В	3—5	3—5	6—7	1	1
Защитные стекла и светофильтры	2Б	2Б	3—5	3—5	5	1	5Г
Зеркала наружного отражения	—	—	—	2—3	—	—	6Г — 8Е

4.2. Требования к оптическим деталям

На линейные размеры оптических деталей (диаметры линз, размеры граней призм, толщины) установлены соответствующие ряды точностей, которые называют качеством и обозначают *IT* с добавлением порядкового номера: сопрягаемые размеры от 5 до 13 и несопрягаемые от 14 до 18.

Все поля допусков обозначают буквами латинского алфавита: для отверстий прописными буквами (*A*, *B*, *C* и т. д.), а для валов — строчными буквами (*a*, *b*, *c* и т. д.). Поле допуска отверстия *H* является основным в системе отверстия. Например, если наружный диаметр линзы обозначается как $\varnothing 30e9$, то «e» — поле допуска, а 9 — качество.

На углы установлено 17 степеней точности *AT1...AT17* в порядке уменьшения точности. Величины допусков указывают в градусной мере (секунды, минуты, градусы).

Система допусков и посадок, используемая в чертежах на оптические детали, является единой в СССР и полностью соответствует принятой в машиностроении и приборостроении.

Для оценки точности исполнительных поверхностей оптических деталей установлены погрешность размера (отклонение радиуса кривизны от расчетного) и погрешность формы (отклонение формы от номинальной). Вследствие очень высоких требований (табл. 4.3) по этим погрешностям их выражают через *N* и ΔN . Значения *N* и ΔN определяют по интерференционной картине от наложения пробного стекла или на интерферометре (см. 7, 7.3).

Шероховатость поверхностей. Поверхности оптических деталей после различной механической обработки имеют следы от воздействия инструмента и абразива в виде микронеровностей, близко расположенных друг к другу. Совокупность всех микронеровностей на поверхности называют шероховатостью.

4.3. Требования по N и ΔN к типовым оптическим деталям

Оптические детали	N	ΔN
Линзы объективов:		
коллиматоров	0,5—3	0,1—0,3
фотографических	3—5	0,3—0,5
микроскопов	1—2	0,1—0,2
Линзы окуляров	3—5	0,5—1,0
Поверхности призм:		
отражающие	0,5—1,0	0,1—0,3
преломляющие	2—5	0,5—1,0
Сетки	5—10	1,0—2,0
Защитные стекла и светофильтры	3—5	0,3—1,0
Зеркала	0,5—2,0	0,1—0,3

Если провести среднюю линию m (рис. 4.1, а) в сечении гребешков и опустить перпендикуляры из отдельных точек профиля к этой средней линии, то сумма расстояний ($y_1, y_2, \dots, y_n$), деленная на n , будет средним арифметическим отклонением Ra профиля поверхности от средней линии. Числовое значение параметра Ra в микрометрах используют для оценки шероховатости. Кроме того,

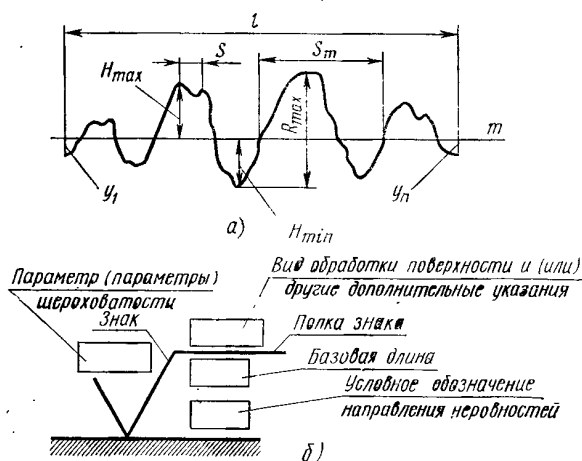


Рис. 4.1. Шероховатость поверхностей

учитывают среднюю высоту неровностей Rz , равную среднему расстоянию между пятью высшими точками выступов и пятью низшими точками впадин. Пять высших точек выступов $H_{\max}$ и пять низших точек впадин $H_{\min}$ берут в пределах так называемой базовой длины l , под которой понимают длину участка поверхности, принимаемой для измерения шероховатости.

Кроме известных параметров Ra и Rz в виде среднего арифметического отклонения профиля и высоты неровностей профиля по десяти точкам имеется еще оценка наибольшей высоты профи-

ля $R_{\max}$. По своему физическому смыслу Ra характеризует высоту всех неровностей профиля, Rz — наибольших, а $R_{\max}$ — полную высоту профиля. Числовые значения для $R_{\max}$ установлены в пределах 1600—0,025 мкм.

Шаговый параметр S характеризует средний шаг неровностей профиля по вершинам, S_m — средний шаг неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины l . Шаговые параметры, значения которых установлены в пределах 12,5—0,002 мм, и относительная опорная длина профиля t_p в чертежах на оптические детали не указывают.

При выборе числовых значений параметров шероховатости (табл. 4.4) учитывают условия эксплуатации деталей машин и при-

4.4. Шероховатость обработки оптических поверхностей

Параметры, мкм		Базовая длина l , мм	Способ обработки
Ra	Rz		
—	320	8, 2,5	Прессование. Шлифование алмазным инструментом зернистостью от 400 до 80 мкм или абразивом № 25—№ 6
—	160		
—	80		
—	40		
—	20—10		
2,5 — 1,6 1,25—0,80 0,63—0,40	— — —	0,8	Шлифование алмазным инструментом зернистостью от 63/50 до 28/20 или абразивом от № 5 до M14
0,32—0,20 0,16—0,08	— —	0,25	Мелкое шлифование алмазным инструментом зернистостью от 20/14 до 10/7
0,08—0,05 0,04—0,02	— —	—	Шлифование абразивом от M10 до M5
— —	0,10—0,06 0,05—0,03	0,08	Полирование

боров, например трение, вибрацию и износ при качении, трение и износ при скольжении, контактную жесткость, сопротивление переменным нагрузкам, прочность сцепления при притирании и склеивании, коррозионную стойкость, качество лакокрасочных и гальванических покрытий. Кроме этого, при нормировании шероховатости поверхности могут еще учитываться требования к точности измерений, соотношения между допусками размера и шероховатостью и т. д. Параметры оценки шероховатости поверхностей распространяются на все виды материалов, кроме древесины, войлока и других, имеющих ворсистую поверхность.

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 4.1, б. Числовые значения параметра шероховатости Ra указывают в ее обозначении без символа, для остальных парамет-

ров — после соответствующего символа. Базовую длину в требованиях не указывают, если параметры определены по стандартным условиям.

Чистота поверхностей оптических деталей. Полированные поверхности оптических деталей, имеющие шероховатость $Rz=0,1 \div 0,03$ мкм, дополнительно оценивают по классам чистоты. Установлено 14 классов чистоты полированных поверхностей оптических деталей из различных материалов после окончательной обработки, включая нанесение покрытий. В классах чистоты, обозначаемых на чертежах буквой Р, нормируют размеры и число царапин, точек, скопление дефектов.

Под царапиной понимают вытянутую впадину на поверхности глубиной более 0,1 мкм при соотношении длины к ширине более 3. Точкой называют впадину любого происхождения (вскрытый пузырь, выколка от абразива и др.) глубиной более 0,1 мкм при отношении длины к ширине менее 3.

Скоплением дефектов считают группу дефектов, расположенных таким образом, чтобы расстояние между двумя точками или между точкой и царапиной было не больше десятикратного размера самого крупного дефекта (диаметра точки или ширины царапины), а расстояние между двумя царапинами не превышало стократной ширины наиболее широкой из них.

Классы чистоты назначают в зависимости от расположения поверхностей деталей в оптической системе. Классы чистоты от 0—10 до 0—40 установлены для поверхностей деталей (шкал, сектор), расположенных в плоскостях действительных изображений, или в плоскости предметов оптической системы прибора. Это вызвано тем, что в поле зрения прибора перечисленные дефекты будут хорошо видны и будут мешать наблюдению или снятию отсчета. Последние две цифры в обозначении классов чистоты указывают среднее значение фокусного расстояния оптической системы (в мм), в которой находится сетка или шкала.

Размеры царапин и точек, соответствующие классам 0—10, 0—20 и 0—40, назначают раздельно по трем зонам поверхности. Границами зон являются концентрические окружности диаметром $\frac{1}{3}$ и $\frac{2}{3}$ светового диаметра детали. Для деталей диаметром менее 5 мм зоны не устанавливают. В центральной зоне не допускаются точки и царапины шириной более 0,001 мм, а в любой четверти поверхности детали — более трех точек при световом диаметре детали до 60 мм включительно и более пяти точек при световом диаметре детали свыше 60 мм. Размеры царапин и точек в средней и краевой зонах и их число в зависимости от светового диаметра детали даны в табл. 4.5. Для деталей диаметром менее 5 мм ширина допускаемых царапин и диаметр точек не должны превышать значений, приведенных в табл. 4.5, для средней зоны поверхности. Для деталей со шкалами и другими делениями допускается устанавливать другое деление границ зон.

Классы от I до IXa установлены для остальных поверхностей, расположенных вне плоскости действительного изображения. На

4.5. Допускаемые дефекты чистоты для классов от 0—10 до 0—40, мм

Класс чистоты	Зона	Царапины		Точки			
		ширина, не более	суммарная длина, не более	диаметр, не более	число, не более, при световом диаметре		
					от 5 до 20	>20 до 60	>60
0—10	Средняя	0,002	$0,2 \times D_{св}$	0,004	1	3	5
	Краевая	0,004	$0,3 \times D_{св}$	0,006	3	6	10
0—20	Средняя	0,004	$0,2 \times D_{св}$	0,010	1	3	5
	Краевая	0,006	$0,3 \times D_{св}$	0,015	3	6	10
0—40	Средняя	0,006	$0,2 \times D_{св}$	0,015	1	3	5
	Краевая	0,008	$0,3 \times D_{св}$	0,025	3	6	10

поверхности деталей, имеющих чистоту I—IХa классов, размеры царапин и точек и их число в зависимости от светового диаметра детали не должны превышать значений, указанных в табл. 4.6. Для

4.6. Допускаемые дефекты чистоты для классов I—IХa, мм

Класс чистоты	Царапины		Точки		Скопление дефектов	
	ширина, не более	суммарная длина, не более	диаметр, не более	число, не более	диаметр ограниченного участка, мм	площадь царапин и точек, мм ² , не более
I	0,004	$2,0 \times D_{св}$	0,020	$0,5 \times D_{св}$	1,0	0,004
II	0,006		0,050		1,2	0,006
III	0,010		0,100		2,0	0,020
IV	0,020		0,300		5,0	0,100
V	0,040		0,500		10,5	0,400
VI	0,060		0,700		25,0	3,000
VII	0,100		1,000		50,0	10,000
VIII	0,200		2,000	$0,4 \times D_{св}$	—	—
VIIIa	0,300	$1,5 \times D_{св}$				
IX		$2,0 \times D_{св}$				
IXa	0,400	$1,5 \times D_{св}$	3,000	$0,3 \times D_{св}$		

IV—VII классов чистоты скопление дефектов на поверхности детали можно не нормировать.

Для деталей, рабочая (световая) часть поверхности которых отличается от круга или имеет нерабочие зоны, световой диаметр определяется полусуммой наибольшей и наименьшей осей симметрии рабочей части поверхности.

Если точка имеет удлиненную форму, то за ее диаметр принимают размер, полученный как среднее арифметическое значение длин ее наибольшей и наименьшей осей.

Необходимость нормирования царапин, точек и выколок вне световой зоны устанавливается в технических требованиях чертежа на оптическую деталь.

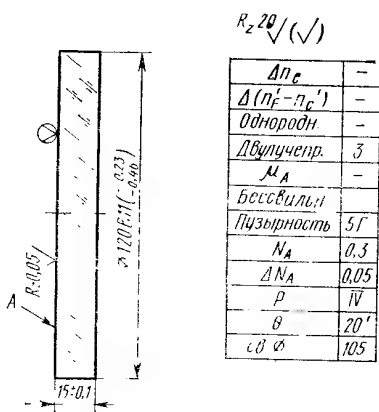
Выколки размером более 0,8 мм должны быть матированы, т. е. обработаны абразивом и иметь матовую поверхность. Необходимость матирования выколок размером 0,8 мм и менее оговаривается в технических требованиях. Размер выколки определяют от края фаски к середине рабочей поверхности.

В необходимых случаях допускается установление различных классов чистоты для различных участков поверхности детали. Возможно также назначение различных классов чистоты по царапинам и точкам. Например, если по царапинам установлен класс PV, а по точкам — класс PIV, то соответствующее обозначение будет выглядеть на чертеже так: PV/PIV.

4.3. Чертеж оптической детали

Чертеж оптической детали содержит наименьшее число проекций, необходимых для передачи сведений о размерах и форме детали и ее отдельных поверхностей, их взаимном расположении и качестве обработки, видах дополнительных покрытий на поверхности детали, а также сведения о материале и требованиях к нему.

Оптические детали изображают на чертежах (рис. 4.2—4.5)



1. Фаски кругом $0.7 \pm 0.8 \times 45^\circ$
2. Зеркальн. ПЗГЕ $\lambda - 590 \pm 70$ нм
3. N_A и ΔN_A для участка $\varnothing 105$
4. Вне $\varnothing 105$ достигаются точки от контактов.

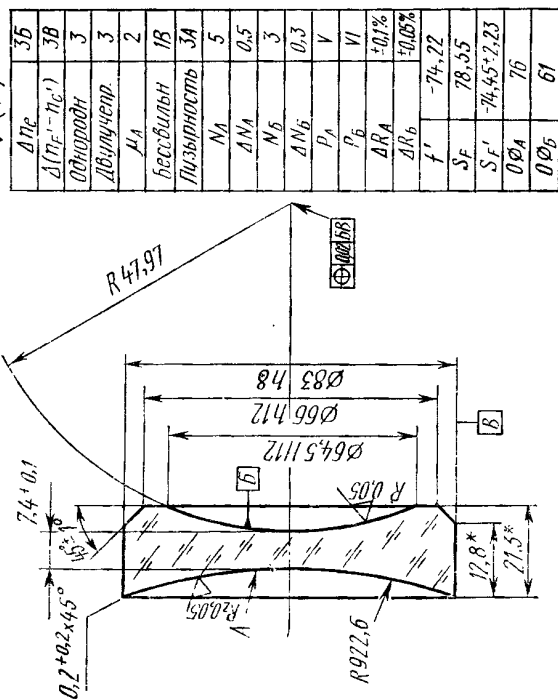
Зеркало. Стекло К8 ГОСТ 3514-76

Рис. 4.2. Рабочий чертеж плоского зеркала

по ходу луча света, идущего слева направо. Линзы, клинья и пластины вычерчивают в одной проекции без разреза (кроме вогнутых линз). На чертеже радиусы кривизны полированных поверхностей обозначают буквой R , а его числовое значение указывают в миллиметрах с точностью до сотых долей. Все линейные и угловые размеры, кроме радиусов кривизны R , показывают с соответствующими допусками. Шероховатость поверхностей обозначают со значениями Ra и Rz . На поверхностях, имеющих покрытия, ставят условный графический знак, определяющий тип покрытия, который расшифровывают в дополнительных технических условиях. При этом

указывают цифрами вид исходного вещества, которое используют при нанесении покрытия, а буквами — способ нанесения этого покрытия. В случае многослойного покрытия эти обозначения запи-

2.5/√

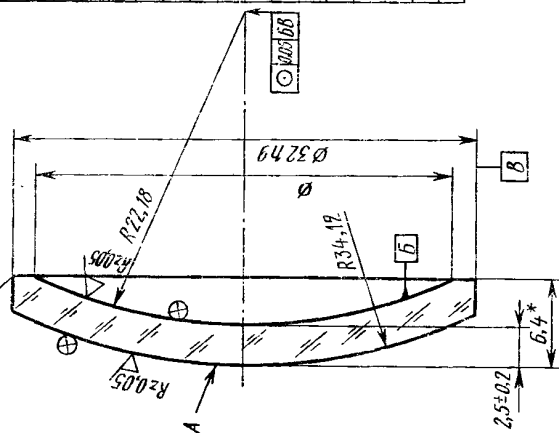


1. * Размер для справок

Линза. Стекло $\varnothing 1$ ГОСТ 3514-76

Рис. 4.3. Рабочий чертеж отрицательной линзы

$0,4^{+0,5 \times 0,5}$



1. * Размер для справок.

2. $\otimes$ - проветр. 241

Линза. Стекло ТФ5 ГОСТ 3514-76

Рис. 4.4. Рабочий чертеж линзы с асферической поверхностью

сывают подряд в строчку. Более подробно об обозначениях покрытий см. 15, 15.1. На чертежах призм (см. рис. 4.5) дополнительно штрихпунктирной линией показывают световой диаметр, т. е. участки поверхностей призм, где проходят световые лучи. Вне светового диаметра дефекты поверхностей не нормируют. В правом верхнем углу рабочего чертежа оптической детали располагают таблицу, состоящую из трех частей:

1. Требования к материалу детали, в которых указывают категории и классы оптического стекла по отклонению показателя преломления и средней дисперсии, оптической однородности, двой-

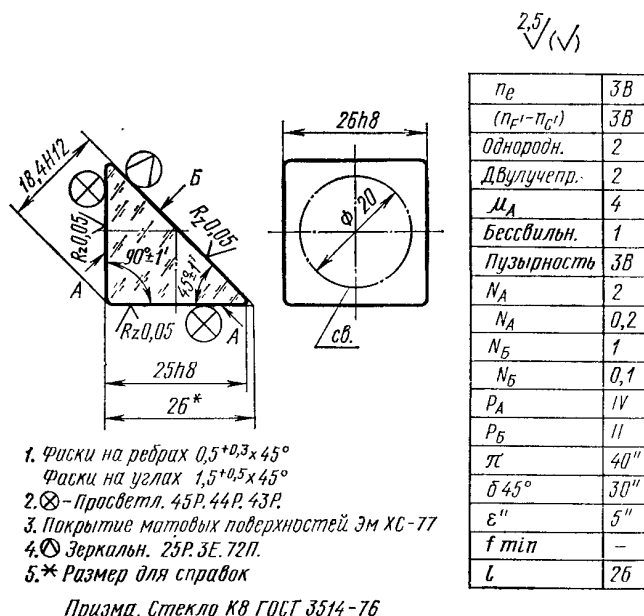


Рис. 4.5. Рабочий чертеж призмы

ному лучепреломлению, светопоглощению, бессвильности и пузырьности.

2. Требования к обработке оптической детали и взаимному расположению ее поверхностей: N_A, N_B, N_V — допустимые отношения стрелки кривизны поверхностей A, B, B детали от стрелки кривизны поверхности пробного стекла, выраженные числом интерференционных колец; $\Delta N_A, \Delta N_B, \Delta N_V$ — допустимые отклонения формы поверхности A, B и B от сферы или плоскости, выраженные числом или долями интерференционных колец (местные ошибки); P — класс чистоты полированных поверхностей; C — допустимая децентричность линзы в мм, т. е. отклонение ее геометрической и оптической осей; ΔR — класс точности пробного стекла, определяющий допуск на радиус пробного стекла; π — допустимая пирамидальность призмы в угловой мере — угол между отражающей

гранью и противоположным ей ребром; δ_{45} — допустимое отклонение разности одинаковых углов призмы, например, равных 45° ; ϵ — разрешающая способность призмы в угловой мере.

3. Расчетные данные, выражающие оптические характеристики детали, например: световой диаметр — св. $\varnothing$, мм; геометрическая длина хода луча l , мм; фокусное расстояние F , мм, и т. д.

В нижней части рабочего чертежа помещают штамп, где указывают наименование детали, масштаб рисунка, марку материала, подписи и другие сведения.

Контрольные вопросы

1. Какие основные требования предъявляют к стеклу?
2. Что такое однородность стекла?
3. От чего зависит двойное лучепреломление?
4. Как оценивают пузырность?
5. Перечислите основные требования к качеству оптической детали.
6. В чем разница между погрешностями размера и формы?
7. Что такое шероховатость и чистота?
8. Как составляют рабочий чертеж?

5. СВЕДЕНИЯ ИЗ МЕТРОЛОГИИ

5.1. Понятия об измерениях

Измерением называют нахождение числового значения искомой величины путем сравнения ее с другой величиной, принятой за единицу.

Единицы измерений. Единицами измерений являются условно принятые и практически применяемые меры, называемые эталонными. Для введения единообразия в единицах измерения в СССР принята Международная система единиц СИ (система интернациональная). СИ содержит семь основных единиц для измерений длины — метр (м), массы — килограмм (кг), времени — секунда (с), температуры — градус Кельвина (К), силы электрического тока — ампер (А), силы света — кандела (кд) и количества вещества — моль. Кроме того, введены дополнительные единицы — радиан и стерадиан для измерений соответственно плоских и телесных углов.

Практически все измерения при изготовлении оптических деталей сводятся к определению длины отрезков и углов. Для линейных размеров единицей измерения является метр и его дольные части в виде миллиметра — мм (одна тысячная) и микрометра — мкм (одна миллионная часть метра). За единицу угловой меры в СИ принят радиан — центральный угол, опирающийся на дугу окружности, равную радиусу. Радиан, как дополнительная единица, установлен не для непосредственного измерения углов, а для образования ряда производных единиц (например, угловой скорости). Поэтому при измерениях углов чаще принимают за единицу угла градус — центральный угол, опирающийся на дугу, равную $1/360$ части окружности. Градус делят на $60'$ (минут), а минуту — на $60''$ (секунд). Эталоны при угловых измерениях служат

многогранные призмы, углы которых выполнены с высокой точностью.

Измерительные средства. Средства измерения, с помощью которых осуществляют измерительный процесс, подразделяют на меры и измерительные приборы. Мерами называют тела или устройства, предназначенные для воспроизведения физических величин заданного размера. К мерам относят концевые меры длины, угловые плитки и т. п. Из этих мер образуют наборы и магазины мер, позволяющих получить заданное кратное или дробное значение единицы измерения. Калибром называют однозначную меру — бесшкальный измерительный инструмент, служащий для проверки размеров, формы и взаимного расположения частей изделия. К измерительным приборам относят устройства, служащие для сравнения измеряемой величины с мерами.

Измерительные средства характеризуют соответствующими параметрами и характеристиками. Для производства отсчета показаний используют шкалу — совокупность отметок, расположенных вдоль какой-либо линии и изображающих ряд последовательных чисел, соответствующих значениям измеряемой величины. Шкалы могут быть равномерными и неравномерными. Равномерные шкалы имеют постоянные интервалы деления шкалы по ее длине. Неравномерные шкалы имеют непостоянные интервалы деления, которые могут увеличиваться или уменьшаться на различных участках шкалы.

Отметки шкалы представляют собой знаки (штрихи, точки и др.), соответствующие отдельным значениям измеряемой величины. Ценой деления шкалы называют разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Например, цена деления индикатора 0,01 мм. Если стрелка прибора переместится от одного деления шкалы до другого, следовательно, измерительный наконечник также переместился на 0,01 мм. Цена деления не должна быть меньше погрешности показаний прибора. Цена деления обычно кратна цифрам 1, 2 или 5.

Линейный промежуток между осями или центрами двух соседних отметок шкалы называют длиной (интервалом) деления шкалы. Обычно у приборов интервал деления равен от 0,9 до 2,5 мм. Чем больше интервал, тем удобнее снимать отсчет по шкале, но увеличиваются ее габаритные размеры.

Отметку, соответствующую нулевому значению чисел, изображаемых шкалой, называют нулем шкалы; отметку, соответствующую наименьшему значению измеряемой величины, определяемой по данной шкале, — началом шкалы, а наибольшему значению измеряемой величины — концом шкалы.

Диапазоном показаний (измерений по шкале) называют область значений шкалы, ограниченную ее начальным и конечным значениями. Например, диапазон показаний оптиметра $\pm 0,1$ мм. Предел измерений — это наибольшее и наименьшее значения размера, которые можно отсчитать непосредственно по шкале.

Чувствительностью измерительного прибора называют отноше-

ние изменения сигнала на выходе измерительного средства к вызвавшему его изменению измеряемой величины. Например, при перемещении наконечника индикатора на величину цены деления 0,01 мм указатель (стрелка) перемещается на одно деление шкалы, равное 1 мм. Чувствительность этого прибора равна $1:0,01 = 100$. Таким образом, чувствительность шкальных приборов численно равна передаточному отношению механизма прибора — отношению линейного или углового перемещения указателя к изменению измеряемой величины. Под порогом чувствительности прибора понимают наименьшее изменение значения измеряемой величины, способное вызвать малейшее наблюдаемое или фиксируемое изменение в показаниях прибора. Порог чувствительности связан с трением подвижных частей прибора или мертвым ходом, вызванный зазорами в механизмах.

Чувствительность прибора должна находиться в полном соответствии с его точностью. При слишком низкой чувствительности прибор не может быть использован в полной мере. Но и слишком высокая чувствительность вредна, так как она может привести к ошибочной оценке точности прибора и может также увеличить погрешности измерений.

5.2. Точность и погрешности измерений

Нельзя путать такие понятия, как точность и погрешность измерений. Под абсолютной погрешностью измерений понимают разность между измеренным X и действительным (истинным) X_0 значениями величин, численно выраженных в принятых единицах измерений, $\Delta X = X - X_0$. Относительной погрешностью измерений называют отношение $\Delta X_{\text{отн}} = \Delta X / X_0$. Точность измерений характеризует степень соответствия между измеренной и действительной величинами и численно может быть определена в относительных единицах как величина, обратная относительной погрешности. В зависимости от закономерности появления погрешности измерений подразделяют на систематические, случайные и грубые (промахи).

Погрешности, имеющие постоянные величину и знак или изменяющиеся по определенному закону, называют систематическими. Они вызваны несовершенством методов и средств измерения, а также влиянием внешних факторов: изменением температуры, влажности и т. п. Эти погрешности изменяют результат каждого измерения на одну и ту же величину. Влияние систематических погрешностей можно предотвратить, если устранить причины их появления или внести поправку в результат измерений, равный величине погрешности, взятой с обратным знаком. Например, погрешности градуировки шкалы указывают в паспорте прибора. Субъективные погрешности наблюдателя устраняются повторными измерениями разными контролерами.

Погрешности, непостоянные по величине, знаку и не определенные по природе возникновения, называют случайными.

Они не могут быть исключены из результатов измерения. Случайные погрешности вызываются многочисленными случайными причинами: влиянием неодинаковости измерительного усилия и зазоров в узлах измерительного прибора, неточностью установки измеряемой детали, нестабильностью условий наблюдения и т. д. Величину и знак случайной погрешности до проведения измерения установить нельзя. Однако эти погрешности имеют определенные свойства, зная которые можно учесть и уменьшить их влияние путем многократных измерений и математической обработки результатов, основанной на законах теории вероятности.

Ввиду того что одинаково вероятны как положительные, так и отрицательные случайные погрешности, при достаточно большом повторении измерений среднее арифметическое дает наиболее точное значение измеряемой величины. При многократных измерениях случайная погрешность уменьшается в $\sqrt{n}$ раз, где n — число измерений. Однако большое число измерений повышает трудоемкость и снижает производительность изготовления деталей. Практически установлено, что для надежной оценки результатов достаточно произвести 5—10 измерений. Проведя несколько измерений одной и той же величины X и получив различные результаты $X_1, X_2, \dots, X_n$, выполняют следующую математическую обработку результатов:

1. Находят среднее арифметическое $X_{\text{ср}}$ значение измеряемой величины после проведения n измерений: $X_{\text{ср}} = (X_1 + X_2 + \dots + X_n)/n$.

2. Определяют среднее квадратическое отклонение σ от среднего значения $X_{\text{ср}}$: $\sigma = \sqrt{[(X_1 - X_{\text{ср}})^2 + (X_2 - X_{\text{ср}})^2 + \dots + (X_n - X_{\text{ср}})^2]/(n - 1)}$. Среднее квадратическое отклонение σ является количественной характеристикой рассеивания размеров при контроле и поэтому характеризует точность контроля.

3. Находят предельную погрешность S среднего арифметического значения: $S = \pm 3\sigma/\sqrt{n}$. После этого действительное значение измеряемой величины X_0 представляют как $X_0 = X_{\text{ср}} \pm S$. При этом вероятность (достоверность) того, что действительный размер отличается на величину S , составляет 99,73%.

Если при нескольких измерениях появится погрешность ΔX больше 3σ , то такую погрешность считают грубой (промахом) и результат измерений исключают. Причинами таких погрешностей может быть резкое изменение условий работы прибора (толчки), а также небрежность, неопытность наблюдателя при снятии показаний по шкале или при записи результата.

Методы измерений. Метод измерения — это измерительное средство и приемы его использования. Методы измерений подразделяют на абсолютные и относительные, прямые и косвенные, контактные и бесконтактные.

При абсолютном методе измерений определение размера производят непосредственно по показаниям измерительного прибора. Например, измеряя толщину пластины микрометром, снимают отсчет 15,026 мм. При относительном методе

определяют отклонение измеряемой величины от известного размера установочной меры или образца. Например, для измерения той же пластины можно взять набор концевых мер длины общим размером 15 мм, по ним установить нуль отсчета оптиметра и снять отсчет, показывающий отклонение измеряемой детали относительно размера установленных образцов.

Измерения, при которых значение измеряемой величины или отклонение от нее определяют по показаниям прибора или сравнением с мерами, называют прямым измерением. Косвенные измерения применяют в тех случаях, когда искомую величину непосредственно измерить невозможно или слишком сложно. Тогда измеряют одну или несколько других величин, связанных с искомой определенной математической зависимостью. В этом случае числовое значение измеряемой величины определяют вычислением по соответствующим формулам. Например, радиус кривизны сферической поверхности линзы, определяемый на кольцевом сферометре ИЗС-7, вычисляют по формуле, связывающей этот радиус с величиной измеренной стрелки прогиба.

В зависимости от связи между измеряемой деталью и измерительным устройством различают контактные и бесконтактные измерения. При контактном методе измерительный наконечник соприкасается с поверхностью детали. В случае бесконтактных измерений (оптических, пневматических и др.) отсутствует механический контакт с поверхностью проверяемой детали, что исключает возможность повреждения высококачественной или нестойкой поверхности оптической детали.

В условиях производства широко применяют контроль деталей. При контроле не определяют действительное значение размера, а выявляют то, что действительное значение размера находится между предельными значениями, т. е. в пределах допуска. Иначе говоря, если измерение позволяет ответить на вопрос «сколько», то контроль лишь «да» или «нет». Контроль делят на пассивный и активный.

Обеспечение точности измерений. Существенное влияние на точность контроля и измерений оказывает правильный выбор баз. Базой называют поверхность, ось или точку, от которой задаются размеры расположения других поверхностей детали и допуски на них.

При измерениях необходимо, чтобы линия измерения совпадала с направлением измеряемого размера. Нарушение этого принципа приводит к значительному уменьшению точности измерений. Например, может возникнуть погрешность измерения диаметра детали на приборе с наконечником, когда его ось смещена относительно диаметральной плоскости.

На погрешность измерений существенное влияние оказывают форма и шероховатость контролируемой поверхности. Измерение размера и формы поверхностей необходимо проводить в различных направлениях, чтобы учесть погрешности в нескольких сечениях.

Эти погрешности должны быть больше величины микронеровностей, так как они входят в результат измерений.

При контактном методе измерений наконечник прибора действует на детали с некоторым усилием. Эти усилия вызывают деформацию как узлов прибора, так и измеряемой детали, в особенности тонкой, снятие гребешков микронеровностей. Возникающие погрешности учитывают в зависимости от измерительного усилия, жесткости узлов прибора и измеряемой детали.

В случае измерений высокоточных, в особенности крупногабаритных деталей, следует учитывать влияние температурных деформаций прибора и детали при отклонении температуры помещения от нормальной, равной 20°C .

Контрольные вопросы

1. Какие существуют единицы измерений?
2. Что такое измерительные средства?
3. Перечислите погрешности измерений.
4. Как учитывают случайные и систематические погрешности?
5. Назовите основные методы измерений.
6. Дайте определение точности и погрешности.

6. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА

6.1. Отклонение показателя преломления и средней дисперсии

В зависимости от величины допустимых отклонений показателя преломления Δn_e и средней дисперсии $\Delta n_F' - \Delta n_C'$ применяют различные методы контроля. Показатель преломления и среднюю дисперсию стекла 1—3-й категорий следует измерять на гониометре с погрешностью не более $1,5 \cdot 10^{-5}$; показатель преломления стекла 4-й и 5-й категорий — методом Обреимова или накладным рефрактометром с погрешностью не более $1 \cdot 10^{-4}$; среднюю дисперсию стекла 4 и 5-й категорий — на рефрактометре с погрешностью не более $2 \cdot 10^{-5}$; классы А, Б и В однородности партии заготовок по показателю преломления — компенсационным методом с погрешностью не более $1 \cdot 10^{-5}$; класс Г оценивают тем же методом, что и категорию. Перечисленными методами находят фактические значения n_e , n_F' и n_C' испытываемого стекла, а затем сравнивают их с табличными, определяя отклонение показателя преломления и дисперсии.

Гониометрический метод. Показатели преломления на гониометре измеряют двумя способами: по углу наименьшего отклонения и методом автоколлимации. Гониометром называют оптический прибор для измерения углов между плоскими полированными гранями различных деталей, а также для измерения углов отклонения лучей, проходящих через призмы и клинья, изготовленные из прозрачных материалов.

Измерение углов на гониометрах осуществляют абсолютным методом, т. е. отсчет снимают непосредственно по круговой шкале (лимбу). В зависимости от цены деления выпускают приборы разных типов ГС-30, ГС-10, ГС-5, ГС-1 (гониометр-спектрометр,

цифра означает минимальную погрешность измерений угла в секундах).

Оптическая система гониометра ГС-1 (рис. 6.1, а) состоит из

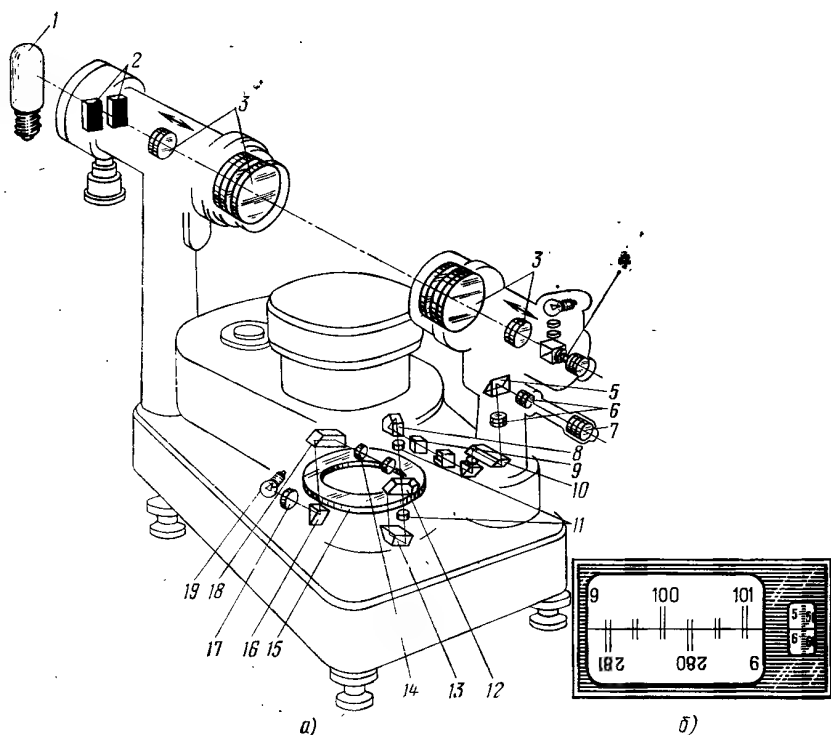


Рис. 6.1. Оптическая схема гониометра

нескольких независимых устройств. Отсчетная осветительная система содержит источник света 19, который через зеленый светофильтр 17 и призму 16 освещает участок лимба 15. Осветительные штрихи лимба 15 через призмы 12 и 18 проецируются объективом 14 в перевернутом виде на противоположный по диаметру участок лимба 15. Объектив 11 через призмы 13, 8 и элементы оптического микрометра 9, призму 10 изображает противоположный участок лимба в плоскости диафрагмы поля зрения оптического микрометра. Изображение шкалы оптического микрометра и противоположных участков лимба рассматривают через призмы 10 и 5 с помощью объектива 6 и окуляра 7 отсчетного микроскопа.

Элементы оптического микрометра выполнены в виде пары клиньев 9. Перемещение клиньев вдоль оптической оси приводит к поперечному и противоположно направленному смещению наблюдаемых участков лимба. Совмещение штрихов происходит при повороте лимба через каждые $10'$. Шкала оптического микрометра, имеющая 600 делений, нанесена на плоскую стеклянную пластину

и механически связана с одним из клиньев. Взаимному перемещению изображения лимба на $10'$ соответствует полное перемещение шкалы. Цена одного деления шкалы оптического микрометра равна $1''$. Число градусов определяют по прямому изображению лимба, десятки минут — по числу интервалов между оцифрованными градусными делениями, различающимися на 180° (рис. 6.1, б). Единицы минут и секунды отсчитывают по шкале оптического микрометра и риске в малом окне. Отсчет показаний по двум диамет-

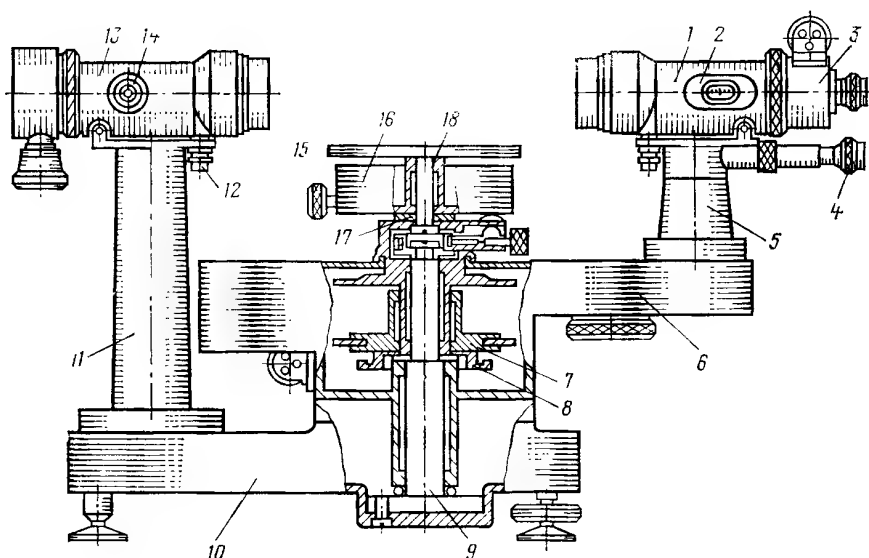


Рис. 6.2. Конструкция гониометра

ально расположенным участкам лимба исключает погрешность эксцентриситета лимба.

Телескопические объективы 3 зрительной трубы и коллиматора одинаковы и снабжены механизмом внутренней фокусировки. Автоколлимационный окуляр 4 зрительной трубы съемный. В комплект прибора также входит набор окуляров различного увеличения.

В фокальной плоскости объектива коллиматора 3 установлена регулируемая щель 2, освещаемая источником монохроматического света 1. Конструктивно прибор выполнен в одном корпусе. Зрительная труба 1 (рис. 6.2) с простым или автоколлимационным окуляром 3 и отсчетным микроскопом 4 помещена на колонке 5, расположенной на алидаде 6. Алидада 6 может вращаться вокруг вертикальной цилиндрической оси 9, жестко закрепленной на основании прибора 10. На вертикальной оси 9 установлены стеклянный лимб 7 в оправе и шестерня 8. Соосно с осью 9 расположен предметный столик 16. Конструкция крепления столика 16 позво-

ляет наклонять его в горизонтальной плоскости с помощью винтов 15 и изменять высоту сменой шайб 17.

Лимб 7 может вращаться относительно столика 16 с помощью триба и шестерни 8, столик 16 — самостоятельно на оси 18, совместно с лимбом 7 при неподвижной зрительной трубе 1 и совместно с лимбом 7 и зрительной трубой 1. Коллиматор 13 установлен на опоре 11, закрепленной на основании прибора 10. Зрительная труба 1 и коллиматор 13 — съемные с одинаковыми посадочными местами под окуляры, сетки, щели и др. Это расширяет возможности прибора и позволяет превращать коллиматор в зрительную трубу или автоколлиматор и наоборот. Зрительная труба 1 и коллиматор 13 могут наклоняться в вертикальной плоскости при вращении винтов 12. Объективы зрительной трубы и коллиматора фокусируют с помощью маховичка 14, перемещающего один из компонентов объектива. Положение перемещаемого компонента определяют по шкале, аналогичной шкале 2 зрительной трубы.

При измерениях по углу наименьшего отклонения необходимо из исследуемого стекла изготовить двугранную призму с преломляющим углом $\Theta = 60 \pm 2^\circ$, если n меньше 1,65. При увеличении n более 1,75 угол Θ уменьшают до 40° . Обе преломляющие грани полируют по $N=0,25$. Высота призмы не менее 10 мм.

На гониометр призму устанавливают в такое положение по отношению к падающему на нее параллельному пучку лучей, чтобы угол ω отклонения лучей призмой имел минимальное значение из всех возможных углов отклонения. В этом случае внутри призмы лучи идут перпендикулярно биссектрисе преломляющего угла призмы Θ (рис. 6.3). Показатель преломления вычисляют по углам Θ и ω из соотношения $n = [\sin(\Theta + \omega)/2] / \sin \Theta/2$.

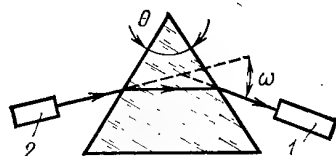


Рис. 6.3. Измерение показателя преломления на гониометре

Положения фиксируют в момент совмещения перекрестия сетки окуляра зрительной трубы 1 с автоколлимационным изображением этого же перекрестия. При этом отсчитывают углы φ_1 и φ_2 по лимбу гониометра, а угол Θ определяют по формуле $\Theta = 180^\circ - (\varphi_1 - \varphi_2)$.

Для измерения угла ω призму устанавливают на столике гониометра так, чтобы световые пучки, падающие на ее грани и преломляющиеся на них, занимали середину отверстия объективов коллиматора 2 и зрительной трубы 1. Далее столик с призмой поворачивают так, чтобы биссектриса преломляющего угла призмы составляла с осью коллиматора острый угол 60° , закрепляют их в этом положении и поворачивают зрительную трубу к основанию призмы до тех пор, пока в поле зрения не появится изображение щели коллиматора. В этом положении зрительной трубы столик с

призмой слегка поворачивают в обе стороны, наблюдая за движением изображения щели. Пройдя некоторое расстояние в поле зрения, изображение щели на мгновение останавливается в положении наименьшего отклонения, а затем начинает двигаться в обратном направлении. Закрепив столик с призмой в положении наименьшего отклонения, поворачивают зрительную трубу и совмещают ее перекрестие с изображением щели, после чего закрепляют зрительную трубу. Слегка поворачивая столик с призмой микрометрическим винтом вместе с отсчетным лимбом в ту и другую сторону, проверяют, соответствует ли установка трубы углу отклонения — наименьшему. Если при малых поворотах столика с призмой изображение щели несколько смещается с перекрестия в сторону преломляющего угла призмы, то, установив призму в положение, соответствующее крайнему положению изображения, исправляют установку зрительной трубы.

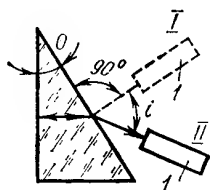


Рис. 6.4. Автоколлимационный метод измерения на гониометре

Совместив центр перекрестия с изображением щели в положении наименьшего отклонения, снимают первый отсчет. Затем поворачивают трубу при закрепленном лимбе до тех пор, пока в поле зрения не появится прямое изображение щели, построенное без участия призмы, и снимают второй отсчет. Если призма полностью перекрывает все выходящие из коллиматора лучи, то ее необходимо снять со столика гониометра. Разность полученных отсчетов равна углу наименьшего отклонения ω для данной длины волны.

При автоколлимационном способе прямоугольную призму изготавливают с преломляющим углом $\Theta = 30 \div 20^\circ$ в зависимости от показателя преломления. На гониометре измеряют преломляющий угол Θ (рис. 6.4) призмы с помощью автоколлимационной зрительной трубы I. Затем измеряют автоколлимационный угол падения i , равный углу выхода. В положении I ось трубы устанавливают перпендикулярно гипотенузой грани, что фиксируют по автоколлимационному изображению перекрестия. Затем поворачивают зрительную трубу к основанию призмы (положение II) до получения автоколлимации от катетной грани и определяют угол i по разности отсчетов. Показатель преломления для выбранной длины волны определяют по формуле $n_\lambda = \sin i / \sin \Theta$.

Метод Обреимова. Иммерсионный метод, предложенный акад. И. В. Обреимовым, является быстрым и удобным для измерения показателя преломления стекла в виде небольших осколков, линз с неизвестными радиусами, призм и т. п. Метод удобен для определения показателя преломления стекла в процессе его варки. Широкое применение метода ограничено погрешностью измерений n_λ до $1 \cdot 10^{-4}$. Метод основан на явлении исчезновения видимости границ стекла, погруженного в иммерсионную жидкость, когда показатели преломления жидкости $n_{ж}$ и стекла между собой уравни-

ваются при определенной длине волны λ . Измерение производят интерференционным способом по разности показателей преломления измеряемой пробы $n_{пр}$ и образца сравнения $n_{об}$.

Прямоугольную стеклянную кювету 2 (рис. 6.5) заполняют иммерсионной жидкостью, в которую помещают образец 3 и пробу 4. Образцом является плоскопараллельная пластинка толщиной не менее 2 мм и размером 10×10 мм, имеющая известный показатель преломления. Проба имеет произвольную форму и конфигурацию. Иммерсионная жидкость — это смесь жидкостей, обладающих большим показателем преломления (бензин, керосин, иодистый

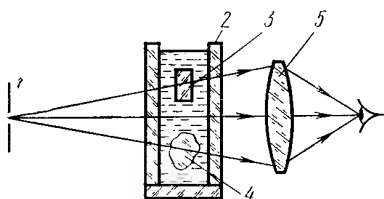


Рис. 6.5. Схема измерений методом Обреймова

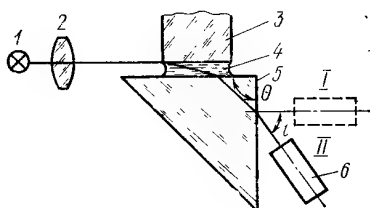


Рис. 6.6. Схема измерения на рефрактометре Пульфриха

метилен, альфамонобромнафталин и др.). Кювету устанавливают на пути лучей света, выходящего из щели 1 монохроматора и имеющего определенную длину волны. В поле зрения появляется интерференционная картина, которую рассматривают через окуляр 5. Сначала определяют длину волны $\lambda_{об}$, при которой исчезает видимость границ образца, а затем длину волны $\lambda_{пр}$, при которой исчезает видимость границ пробы стекла. С изменением длины волны света наблюдаются передвигающиеся через ребро образца интерференционные полосы. Зная толщину образца d , подсчитывают число полос N , прошедших через ребро образца при переходе от $\lambda_{об}$ до $\lambda_{пр}$. Величину показателя преломления пробы $n_{пр}$ определяют с учетом известного значения $n_{об}$ по формуле $n_{пр} = n_{об} + (N \cdot \lambda_{пр})/d$.

Рефрактометрический метод. Измерение показателя преломления оптического стекла рефрактометрическим способом выполняют на различных рефрактометрах ИРФ-23 (типа Пульфриха) и ИРФ-25.

Принцип их действия основан на измерении предельного выхода луча из системы, составленной из образца исследуемого стекла 3 и эталонной призмы прибора 5 (рис. 6.6). Преломляющий угол θ и показатель преломления эталонной призмы точно известны. Между эталонной призмой 5 и пробным образцом 3 исследуемого стекла находится слой жидкости 4, показатель преломления которой имеет промежуточное значение между показателями преломления призмы $n_{пр}$ и пробного образца $n_{об}$, т. е. $n_{об} < n_{ж} < n_{пр}$. Тонкий слой жидкости необходим для оптического контакта между призмой и пробой, т. е. чтобы не было рассеяния света на границе раздела.

Источник света 1 устанавливают так, чтобы его изображение проектировалось конденсором 2 на плоскость пробного образца. После прохождения слоя жидкости лучи входят в призму под углом полного внутреннего отражения, а выходят под предельным углом выхода. Измерение угла i производят с помощью автоколлимационной зрительной трубы 6. Сначала снимают отсчет при установке трубы в положении I перпендикулярно выходной грани призмы. Затем трубу поворачивают в положение II до появления светотени от источника света. Угол поворота зрительной трубы и представляет собой угол i . Показатель преломления пробного образца $n_{об}$ определяют по формуле $n_{об} = \sqrt{n_{пр}^2 - \sin^2 i}$.

6.2. Оптическая однородность

Оптическую однородность стекла определяют на основе измерения разрешающей способности на установке (рис. 6.7), состоя-

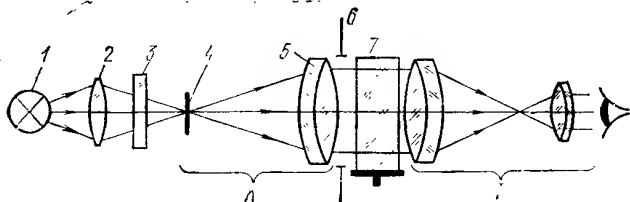


Рис. 6.7. Схема установки для контроля оптической однородности

щей из коллиматора K и зрительной трубы T . Фокусные расстояния их объективов не менее 600 мм. В фокальной плоскости объектива 5 коллиматора установлена штриховая мира 4, осветитель которой состоит из лампы накаливания 1, конденсора 2 и сменного зеленого светофильтра 3. Коллиматор снабжен пятью сменными штриховыми мирами с № 1 по № 5 и тремя точечными диафрагмами диаметром от 0,007 до 0,1 мм.

Исследуемый образец стекла 7 в виде плоскопараллельной пластины круглой или прямоугольной формы с клиновидностью не более $2'$ устанавливают на стол. Диаметр диафрагмы 6, расположенной перед коллиматором, должен быть равен размеру исследуемого образца. Если образец имеет шлифованные поверхности, то на них накладывают полированные плоскопараллельные пластины, смоченные иммерсионной жидкостью, показатель преломления которой не должен отличаться от n_e образца.

Метод измерений основан на сравнении разрешающей способности объектива коллиматора при введении исследуемого образца в параллельный пучок лучей и без него. Для оценки категории оптической однородности используют коэффициент K ; $K = \phi/\phi_0$, где ϕ — предельный угол разрешения коллиматора с образцом, ϕ_0 — угол разрешения без образца.

Углы разрешения находят по таблице с учетом предельно раз-

решаемых элементов мира. Каждая штриховая мира (рис. 6.8) (прозрачная пластинка со штрихами) содержит 25 отдельных элементов, состоящих из четырех групп параллельных светлых и темных полос одинаковой ширины, расположенных под углом друг к другу. Номера элементов от 1 до 25 расположены слева направо и сверху вниз. Ширина полос при переходе от предыдущего элемента к последующему уменьшается по закону геометрической

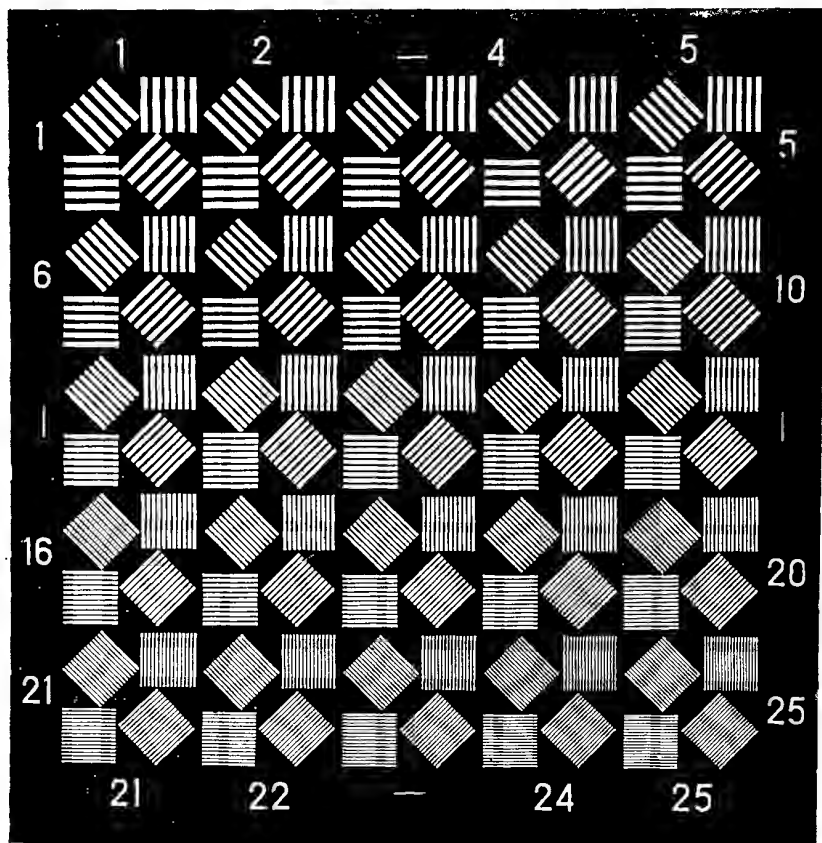


Рис. 6.8. Штриховая мира

прогрессии с постоянным знаменателем 0,94. Предельно разрешимый элемент мира при рассмотрении ее на коллиматорной установке соответствует тому последнему номеру элемента, у которого еще различимы без слияния чередующиеся полосы. По номерам мира и предельно разрешимого элемента в таблице с учетом фокусного расстояния коллиматора определяют угол разрешения.

Для стекол первой категории по оптической однородности кро-

ме определения угла разрешения просматривают дифракционное изображение точечной диафрагмы. Для просмотра вместо окуляра в зрительную трубу устанавливают микроскоп с увеличением 100 $\times$. Дифракционное изображение точки должно состоять из светлого круглого пятна, окруженного концентрическими кольцами без разрывов и хвостов.

6.3. Показатель ослабления

Показатель ослабления ε_A измеряют на фотометре с предельной погрешностью не более 0,0001 см^{-1} для стекла 1-й и 2-й категорий и не более 0,0002 см^{-1} для стекла 3-й и 8-й категорий. Фотометр должен обеспечивать погрешность измерения менее 0,5% (например, фотометр типа ФМС-56). На рис. 6.9 приведена схема

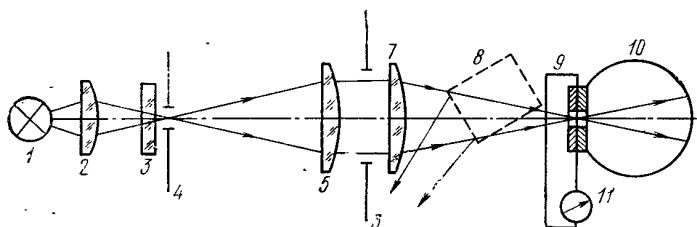


Рис. 6.9. Схема фотометра для контроля показателя ослабления

объективного фотометра прямого отсчета. Лампа накаливания 1 — газополная лампа с вольфрамовой нитью мощностью 100 Вт — воспроизводит условия искусственного освещения и соответствует излучению абсолютно черного тела с температурой 2856 К. Свет от лампы 1 через конденсор 2 освещает диафрагму 4, которая установлена в фокусе объектива 5. Перед диафрагмой находится зеленый светофильтр 3. Около объектива 5 расположена ирисовая диафрагма 6, регулирующая ширину светового пучка. Дополнительная линза 7 изображает диафрагму 4 в своем заднем фокусе. Испытуемый образец стекла 8 устанавливают на столике так, чтобы отраженный от него свет не попадал в линзу 7. Образцы стекла для измерения должны иметь форму параллелепипеда 100 $\times$ 25 $\times$ 25 мм, клиновидность торцов не должна превышать 2°. Длину каждого образца измеряют с погрешностью $\pm 0,5$ мм. В качестве приемника света используют фотометрический полый шар 10 диаметром 100 мм с белой матовой внутренней поверхностью. В стенку шара встроен селеновый фотоэлемент 9, к которому подключен микроамперметр 11.

6.4. Двойное лучепреломление

Двойное лучепреломление определяется разностью показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей или разностью хода δ , отнесенной к толщине стекла в 1 см.

Двойное лучепреломление измеряют на поляризоскопе ПКС-56, оптическая схема которого состоит из лампы накаливания 1 и матового стекла 2 (рис. 6.10). Между поляризатором 3 и анализатором 6 находится образец испытуемого стекла 4 и компенсационная пластинка 5. Для наблюдения в монохроматическом свете используют зеленый светофильтр 7. Поляризатором и анализатором могут служить поляризационные призмы, поляроиды и зеркала из черного стекла, поставленные под углом полной поляризации. Компенсатор разности хода представляет собой слюдяную пластинку с разностью хода между обыкновенными и необыкновенными лучами $\lambda/4$ при $\lambda=550$ нм. Поверхности испытуемого стекла 4 должны быть шлифованными или полированными. Шлифованные поверхности перед измерением смачивают иммерсионной жидкостью, показатель преломления которой не должен отличаться от показателя преломления стекла более чем на 0,02 для $\lambda=589,3$ нм.

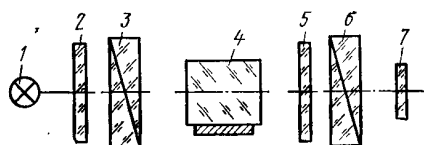


Рис. 6.10. Схема контроля двойного лучепреломления

Сущность измерения двойного лучепреломления основана на использовании свойств поляризованного света. Лучи, выходящие из поляризатора, линейно поляризуются. При прохождении этих лучей через стекло с поляризующими свойствами каждый из них распадается на два луча — обыкновенный и необыкновенный. Плоскости колебаний электрических векторов этих лучей взаимно перпендикулярны. Свойства обоих лучей по выходе из стекла, за исключением направления поляризации, ничем друг от друга не отличаются, поэтому «необыкновенным» называют только луч, идущий внутри стекла или другого материала, имеющего двойное лучепреломление. Оба луча в стекле распространяются с разной скоростью, образуя некоторую разность хода. Попадая в анализатор, взаимно перпендикулярные колебания лучей приводятся в одну плоскость, где интерферируют между собой и создают цветную картину полос или просветленное поле.

До начала измерений плоскости поляризации анализатора и поляризатора перпендикулярны. Для этого вращают анализатор и устанавливают его «на темноту», что соответствует нулевому отсчету по лимбу анализатора. В пучок лучей вводят образец стекла, причем если последний обладает двойным лучепреломлением, то при наблюдении в анализатор в середине и по краям образца видны области просветления, разделенные двумя темными полосами.

Поворачивают анализатор до тех пор, пока обе темные полосы не переместятся в середину образца и не сольются в одну. По лимбу отсчитывают угол поворота анализатора. Указанную методику испытаний применяют, если разность хода в образце меньше 100 нм.

Если разность хода находится в пределах от 100 до 540 нм,

то с помощью зеленого светофильтра устраняют цветовой тон в середине образца, мешающий установке анализатора на минимум освещенности.

Если разность хода больше 540 нм, то при наблюдении без светофильтра видны ряд цветных полос и две ахроматические полосы, черные или серые. В этом случае поворот анализатора меняет окраску середины образца, но не дает полного затемнения. В ход лучей необходимо ввести светофильтр, тогда поворот анализатора приведет к перемещению полос. Отсчитывают угол поворота анализатора, соответствующий максимальному потемнению в середине образца, а затем, установив анализатор на 0° и заметив без фильтра положение ахроматической полосы, вновь вводят фильтр и подсчитывают число темных полос N , расположенных между ахроматической полосой и серединой образца.

По результатам измерений вычисляют разность хода по формуле $\delta = 3(180N + \phi)/l$, где ϕ — угол поворота анализатора в градусах; N — число темных полос; l — толщина образца, см.

6.5. Бессвильность

Бессвильность стекла определяют на проекционной установке (рис. 6.11). Источником света 1 служит газоразрядная лампа высокого и сверхвысокого давления, например, типа СВДШ-250. Изображение дуги лампы с помощью конденсора 2 проецируется на отверстие диафрагмы 3. Светофильтр 4 служит для уменьшения освещенности экрана при визуальном наблюдении. В качестве экрана 6 используют чертежную бумагу, покрытую порошком мела. Параметры проекционной установки назначают в зависимости от требуемой категории бессвильности просматриваемого стекла. Исследуемый образец стекла 5 должен иметь полированные грани. Стекло любой формы со шлифованными поверхностями и поверхностями раскола просматривают с применением иммерсионной жидкости.

Измерения проводят в затемненном помещении. Образец стекла помещают полированными гранями перпендикулярно оси пучка. Если в стекле есть свили, то на экране появится темневая картина, состоящая из ряда темных и светлых полос. Чтобы отличить свили от царапин, нужно повернуть образец на некоторый угол, тогда тени царапин на экране будут перемещаться вместе с изображением поверхности образца. Категорию стекла определяют по размерам свилей и их числу. Класс стекла по бессвильности устанавливают числом направлений просмотра образца стекла.

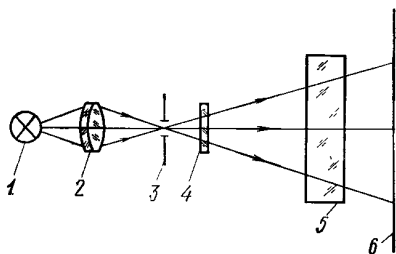


Рис. 6.11 Схема контроля бессвильности

6.6. Пузырность

Метод определения пузырности оптического бесцветного стекла заключается в просмотре его на темном фоне при направленном боковом освещении, тогда пузыри вследствие рассеяния ими света будут хорошо видны. Оптическое цветное стекло просматривают в проходящем свете, при этом изображение пузырей проецируется на экран или сетчатку глаза.

Для определения пузырности заготовок из бесцветного стекла с пузырями диаметром более 0,05 мм служит установка (рис. 6.12), состоящая из осветителя 1 (кинопроекционная лампа 300 Вт), щелевой диафрагмы 2, конденсора 3 диаметром 12—15 см и темного экрана 5. Заготовка 4 должна иметь полированные поверхности. Если испытывают стекла в кусках неправильной формы или линзы с полированными поверхностями, то такие образцы погружают в кювету с иммерсионной жидкостью, показатель преломления которой подобран с погрешностью $\pm 0,002$ к показателю преломления исследуемого образца. Пузыри рассматривают на темном фоне. Диаметр пузыря оценивают визуально, сравнением с пузырями контрольных образцов. Среднее число пузырей в 1 кг стекла определяют, начиная с подсчета числа пузырей диаметром более 0,5 мм, а затем пузырей меньшего диаметра на других образцах. При определении диаметра наибольшего пузыря просматриваемое стекло освещают пучком света так, чтобы его внутренняя часть была освещена через одну из боковых поверхностей. Поверхности, перпендикулярные освещенной, через которые ведется просмотр, по возможности следует оставлять в тени. Это достигается с помощью диафрагмы, регулирующей диаметр сечения пучка, выходящего из конденсатора.

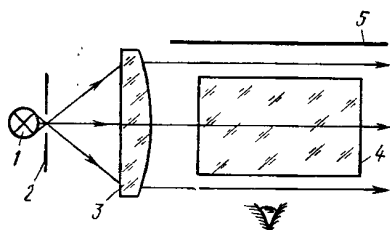


Рис. 6.12. Схема контроля пузырности

Контрольные вопросы

1. Каково назначение гониометра?
2. Расскажите об измерении показателя преломления на гониометре.
3. Что такое метод Обреимова?
4. Как измеряют показатель преломления на рефрактометре Пульфриха?
5. Расскажите о контроле оптической однородности.
6. На каких приборах проверяют показатель ослабления?
7. Как определяют двойное лучепреломление, пузырность и бессвильность?

7. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Форму, размеры детали и качество ее изготовления обеспечивают и контролируют в процессе обработки. Контроль осуществляют на различных этапах изготовления деталей рабочие и контро-

леры (производственный и технологический контроль), а также после изготовления детали работники ОТК цеха (приемосдаточный контроль). В процессе контроля оптических деталей проверяют погрешности линейных и угловых размеров, форму оптических поверхностей и микродефекты. При приемосдаточном контроле в случае необходимости проверяют оптические параметры деталей, например фокусное расстояние линзы.

7.1. Измерение линейных размеров оптических деталей

Линейные размеры оптических деталей — габаритные размеры призм, толщину пластин, линз, диаметры цилиндрических поверхностей линз, зеркал и т. д., измеряют обычными методами, применяемыми в приборостроении и машиностроении. Выбор измерительных средств зависит от требуемой точности измерений и от масштаба производства. В единичном и мелкосерийном производстве используют универсальные средства контроля и измерений; при крупносерийном и массовом производстве — специальные приборы, универсальные приборы применяют только для наладки и контроля технологического процесса. Не следует выбирать высокоточные методы и измерительные приборы, если достаточно невысокая точность. Погрешности измерений не должны превышать 0,1—0,3 допуска на измеряемую величину.

Концевые меры длины. Плоскопараллельные концевые меры длины, сокращенно называемые плитками, представляют собой стальные прямоугольники, имеющие разную толщину. Их применяют для проверки калибров, установки отсчета индикаторов и других измерительных устройств.

Рабочим размером отдельной плитки является «срединная длина», определяемая длиной перпендикуляра, опущенного из середины одной из измерительных поверхностей плитки на противоположную измерительную поверхность.

Плоскопараллельные концевые меры подразделяют по точности изготовления на 6 классов: 0, 1, 2, 3, 4, 5, а по точности аттестации рабочих размеров, т. е. по точности, с которой измерен размер самой плитки, на пять разрядов: 1, 2, 3, 4 и 5. Плиткам, у которых наиболее точно аттестованы размеры, присваивают первый разряд, а плитки 5-го разряда имеют более грубую аттестацию размеров. Так, у плитки первого разряда ее номинальный размер 100 мм определен (аттестован) с погрешностью $\pm 0,1$ мкм, а у плитки 5-го разряда тот же размер 100 мм — с погрешностью ± 2 мкм.

Плитки имеют разные размеры от 0,091 до 175 мм, их комплектуют в наборы. Так называемый микронный набор плиток содержит 19 плиток, отличающихся друг от друга размерами. Размер первой плитки составляет 0,091 мм, а второй — 0,092 мм, третий — 0,093 мм и т. д., последняя плитка имеет размер 1,009 мм. В других наборах, например из 83 плиток, имеются плитки, отличающие-

ся друг от друга своими размерами на 0,01, 0,1 мм и на целые миллиметры.

С помощью плиток можно составлять наборы различных размеров, для чего несколько плиток притирают друг к другу и собирают в блоки из двух, трех, но не более четырех плиток. Набор притертых плиток не рассыпается, так как их поверхности после доводки, имея малую шероховатость и хорошую плоскостность, крепко соединяются между собой, если надвигать одну плитку на другую. Силы сцепления двух плиток значительны, разъединить их можно только сдвигая одну плитку по другой.

Калибры и скобы. При массовом выпуске деталей, когда ежедневно требуется измерять заготовки по одному и тому же размеру, широко применяют измерительные инструменты жесткой конструкции — предельные калибры. Для контроля отверстий применяют пробки, а для контроля толщин и наружных диаметров деталей — скобы. Калибры не имеют отсчетных устройств для определения отклонений размеров, а только показывают, находится ли размер в пределах допуска.

Линейные размеры заготовок и шлифованных деталей измеряют штангенциркулями и микрометрами и контролируют с помощью толщиномеров и длиномеров с индикаторами различных типов. Толщиномерами и длиномерами можно измерять действительный размер детали или его отклонение от номинального. В последнем случае прибор настраивают по набору концевых мер или по эталонной детали на номинальный размер, а стрелку индикатора устанавливают на некоторый «нулевой» отсчет. При последующей установке на прибор контролируемых деталей определяют отклонение стрелки индикатора от нулевого отсчета, равное отклонению размера детали от номинального.

Схема простейшего рычажно-механического толщиномера показана на рис. 7.1. Он состоит из двух шарнирно соединенных между собой рычагов 2 и 3, на которых имеются измерительные винты 5. Замыкание измерительных винтов осуществляется пружиной 4. К рычагу 3 жестко прикреплена шкала 1, на конце рычага 2 имеется отсчетная риска. Толщиномер проверяют и настраивают вращением измерительных винтов по набору концевых мер. Для контроля размера деталь помещают между измерительными винтами и по шкале 1 определяют размер детали или его отклонение от номинала.

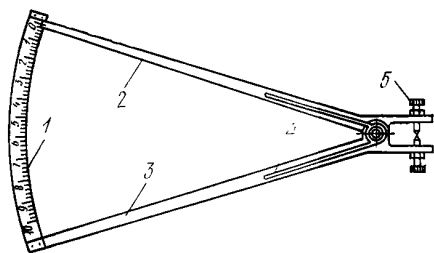


Рис. 7.1. Толщиномер

Толщиномеры широко применяют на заготовительных операциях для измерения толщины линз и пластин. Погрешность измерения зависит от соотношения плеч рычагов и составляет 0,02—

0,1 мм. Предел измерения около 10 мм при наибольшем диаметре измеряемой детали около 50 мм.

Измерительные поверхности приборов, используемых для контроля шлифованных деталей, быстро изнашиваются. Поэтому эти приборы необходимо периодически проверять и регулировать.

Штангенциркули. Наиболее распространенным измерительным прибором для абсолютных контактных измерений линейных размеров до 200 мм и более являются штангенциркули с ценой деления 0,1; 0,05; 0,02 мм.

Штангенциркуль с ценой деления 0,1 мм (рис. 7.2) используют

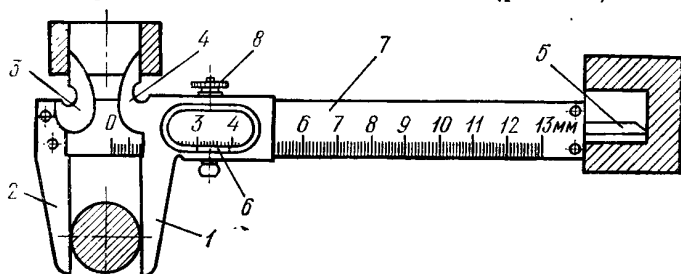


Рис. 7.2. Измерение размеров штангенциркулем

для замера наружных размеров с помощью длинных измерительных губок 1 и 2. Замер внутренних размеров производят короткими губками 3 и 4.

Для измерения глубины имеется тонкий стержень 5, который связан с подвижной рамкой 6, перемещающейся по линейке 7 и закрепляемой винтом 8.

Отсчет размеров производят по нониусу. Если нулевой штрих нониуса совпадает с каким-либо штрихом на линейке, то это деление указывает на размер изделия в целых миллиметрах (рис. 7.3, а, б). Если же нулевой штрих нониуса совпал со штрихом на основной шкале, то ближайшее слева деление на линейке показывает целое число миллиметров, а дробные доли миллиметров отсчитывают по нониусу.

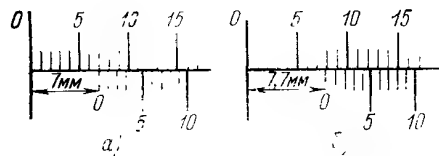


Рис. 7.3. Нониусная шкала штангенциркуля

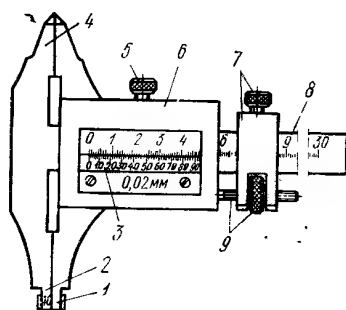


Рис. 7.4. Устройство штангенциркуля с ценой деления 0,02 мм

Какой по счету штрих нониуса совпадает с одним из штрихов на линейке, столько дробных долей миллиметра и прибавляют к целому числу миллиметров.

Штангенциркуль с ценой деления 0,02 мм (рис. 7.4) состоит из штанги 8 с неподвижными губками 2 и 4. Вдоль штанги перемещается подвижная рамка 6 с губками 1, которая при измерении может закрепляться в требуемом положении винтом 5. На основной линейке — штанге нанесены миллиметровые деления, а на подвижной рамке находится вспомогательная шкала — нониус 3, имеющая 50 делений. Для точной установки подвижной рамки 6 предусмотрено устройство с микрометрической подачей. Оно состоит из вспомогательной рамки с зажимным винтом 7 и винтом с гайкой 9 для микрометрической подачи, которую нужно производить плавно без больших усилий.

Для относительных линейных измерений малых величин применяют оптиметры. Оптиметры разделяют на вертикальные и горизонтальные в зависимости от расположения линии измерения, а также по виду наблюдения шкалы с окуляром или с проекционным экраном. Цена деления шкалы для вертикального оптиметра с окуляром типа ОВО-1 составляет 0,001 мм, а пределы измерения по шкале — менее 0,1 мм для деталей размером до 180 мм. Главной частью оптиметра является измерительное устройство или трубка. Принцип действия трубки оптиметра основан на сочетании оптического и механического рычагов. Оптическая система состоит из коленчатой автоколлимационной зрительной трубы и качающегося зеркала, механически связанного с измерительным стержнем.

На рис. 7.5 приведена принципиальная оптическая схема трубки оптиметра. Дневной свет или свет от лампочки направляется шарнирно закрепленным зеркалом и прямоугольной призмой подсветки 2 на левую часть сетки 3, где нанесена шкала с делениями и цифрами, после чего попадает на призму 4. Шкала расположена в фокальной плоскости объектива 5, поэтому автоколлимационное изображение шкалы располагается в той же плоскости, но в правой части сетки. Зеркало 6 наклоняется в небольших пределах под действием измерительного стержня 7. Нижний конец стержня находится в контакте с измеряемым изделием 8. Поворот зеркала 6 вызывает вертикальное смещение шкалы, которое наблюдают в окуляр 1 и отсчитывают по неподвижному указателю.

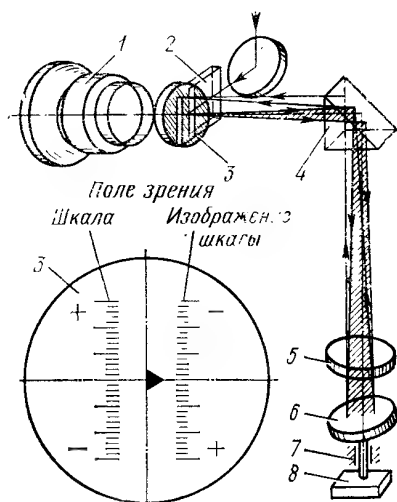


Рис. 7.5. Оптическая схема трубки оптиметра

7.2. Измерение угловых размеров

Для контроля угловых размеров шлифованных деталей — призм и пластин — широко применяют простой по конструкции регулируемый угольник (рис. 7.6), состоящий из основания 2 и линейки 3, соединенных зажимным винтом 1. Предварительно линейку 3 по точным стеклянным установочным угольникам или угловым мерам настраивают под заданный угол к основанию 2. Точность угла контролируемой детали оценивают по величине зазора между линейкой и деталью, установленной на основание угольника.

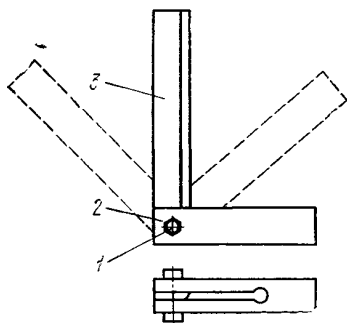


Рис. 7.6. Регулируемый угольник

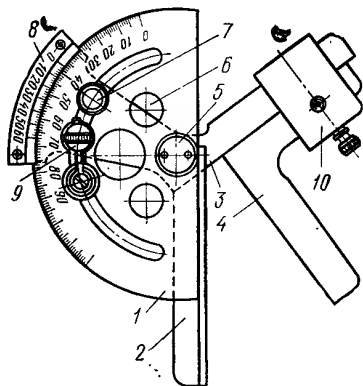


Рис. 7.7. Угломер с нониусом

Оптический угломер и угломер с нониусом используют как угловые калибры и для непосредственного измерения углов между плоскостями. Угломер с нониусом состоит из основания 1 (рис. 7.7), линейки основания 2, подвижной линейки 3, угольника 4, оси 5, сектора 6, стопора 7, нониуса 8, микрометрической подачи 9 и державки 10. Погрешность отсчета по нониусу 2', цена деления отсчетной шкалы оптического угольника 10".

Для измерения углов оптических деталей с погрешностью менее 1' используют оптические углоизмерительные приборы. Для этих целей широко применяют автоколлимационные приборы АК-0,25, АК-0,5, АК-1, АК-5, АК-30, где числа 0,25, 0,5 и т. д. указывают цену деления отсчетных шкал или механизмов приборов в секундах. На оптических заводах часто изготавливают и применяют для контроля автоколлимационные приборы специального назначения.

Оптическая схема автоколлиматора (рис. 7.8) состоит из объектива 2 и автоколлимационного окуляра, содержащего разделительную куб-призму 3, коллимационную сетку 6, отсчетную сетку 4, осветитель 7 и окуляр 5. Кроме показанного на рис. 7.8 автоколлимационного окуляра с куб-призмой и двумя сетками в автоколлиматорах также применяют окуляры Аббе, Гаусса и др. Измерительные сетки расположены в задней фокальной плоскости

объектива. Лучи от освещенной марки A коллимационной сетки 6 , отразившись от полупрозрачной грани куб-призмы 3 , выходят из объектива параллельным пучком вдоль оптической оси автоколлиматора. Если перпендикулярно лучам поместить плоское зеркало 1 , то после отражения лучи вернуться в объектив и в центре измерительной сетки образуется автоколлимационное изображение A' марки A . Если же зеркало наклонить на некоторый угол φ , то отраженные лучи дадут автоколлимационное изображение A'_φ , смещен-

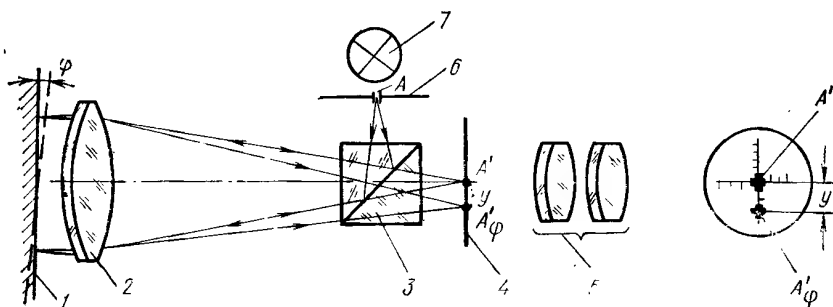


Рис. 7.8. Оптическая схема автоколлиматора

ное от центра измерительной сетки на величину y . Угол наклона зеркала φ и величина смещения автоколлимационного изображения y связаны зависимостью $y = 2f'_{об} \cdot \varphi$, где y — смещение автоколлимационного изображения, мм; φ — угол наклона зеркала, рад; $f'_{об}$ — фокусное расстояние объектива автоколлиматора, мм.

Измерив величину смещения автоколлимационного изображения y , определяют положение зеркала относительно оси автоколлиматора. Величину y измеряют по шкалам отсчетной сетки или с помощью окуляр-микрометров. В современных автоколлиматорах отсчетные сетки и шкалы измерительных механизмов градуированы в углах наклона зеркала φ .

Схема контроля малых углов Θ клиньев с помощью автоколлиматора показана на рис. 7.9. Контролируемый клин выставляют так, чтобы его полированная плоскость 1 была перпендикулярна оси 3 автоколлиматора 4 . При этом автоколлимационное изображение будет располагаться в центре отсчетной сетки прибора. Автоколлимационное изображение от второй поверхности 2 клина менее яркое, чем первое, будет смещено от центра измерительной сетки на величину ω (в угловой мере), измерив которую можно вычислить значение угла клина по формуле $\Theta = \omega / 2n$, где n — показатель преломления стекла детали.

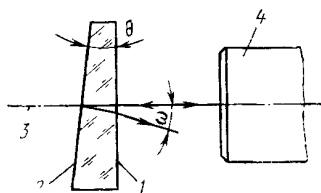


Рис. 7.9. Контроль углов клина с помощью автоколлиматора

Контроль углов призм по схеме с использованием автоколли-

матора (см. рис. 7.8) несколько упрощается, если ось автоколлиматора выставить перпендикулярно отражающей поверхности эталона. Затем на место эталона последовательно устанавливаются контролируемые призмы. По величине отклонения автоколлимационного изображения от центра сетки судят о точности контролируемого угла призмы. При разбраковке партии призм контролер следит лишь за тем, чтобы автоколлимационное изображение не выходило за пределы допуска.

Описанным способом можно контролировать и шлифованные призмы с помощью присадки к шлифованной грани призмы на иммерсионной жидкости плоского зеркала, так как получить автоколлимационное изображение непосредственно от шлифованной поверхности невозможно. Однако если на шлифованную поверхность детали направить скользящий пучок света углом $1-2^\circ$ к поверхности, то от нее можно получить достаточно яркое изображение. На этом свойстве основан метод контроля углов шлифованных призм, который выполняют по автоколлимационной схеме (рис. 7.10).

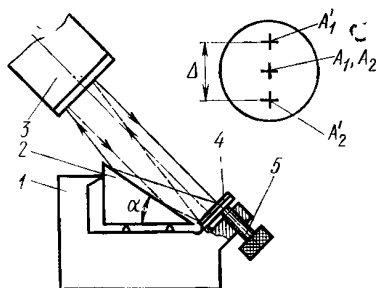


Рис. 7.10. Контроль углов шлифованной призмы

Контрольное приспособление состоит из автоколлиматора 3, столика 1 с тремя сферическими и одной ножевой опорой и регулируемого винтом 5 зеркала 4. На опоры столика 1 устанавливают эталонную призму 2. Автоколлиматор выставляют так, что часть лучей падает на грань призмы и после отражения от призмы и зеркала возвращается в объектив автоколлиматора. Другая часть лучей, показанная пунктиром, сначала отражается от зеркала, потом от грани призмы и также возвращается в автоколлиматор. Каждый из этих пучков лучей дает на измерительной сетке прибора свое автоколлимационное изображение A_1 и A_2 . Регулировкой положения зеркала 4 совмещают эти изображения, при этом угол между гранью призмы и зеркалом будет равен 90° . Затем на место эталона устанавливают контролируемую деталь. Если контролируемый угол α детали отличается от угла эталона, то автоколлимационные изображения A'_1 и A'_2 в поле зрения прибора разойдутся на величину Δ . Погрешность $\Delta\alpha$ угла α контролируемой призмы определяют из выражения $\Delta\alpha = 0,25 \cdot \Delta$, где Δ — величина расхождения изображений A'_1 и A'_2 в угловой мере. При использовании автоколлиматора с фокусным расстоянием 300 мм погрешность измерения $\Delta\alpha$ примерно равна $1'-2'$.

Схема установки для контроля пирамидальности шлифованных призм методом скользящего хода лучей показана на рис. 7.11. Контролируемую призму 3 устанавливают на столик 2. Коллиматор 1 и зрительную трубу 4 с измерительной сеткой 5 выставляют так,

чтобы лучи отражались от грани призмы, попадали в зрительную трубу и давали изображение A_1 сетки коллиматора на измерительной сетке зрительной трубы (Δ_1 — отсчет в угловой мере). Затем призму разворачивают на 180° , как показано на рис. 7.11 пунктиром. При наличии пирамидальности призмы изображение сетки коллиматора займет положение A_2 (отсчет Δ_2). Пирамидальность призмы π определяют по формуле $\pi = 0,25(\Delta_2 - \Delta_1)$, значения Δ_1 и Δ_2 подставляют с учетом знака.

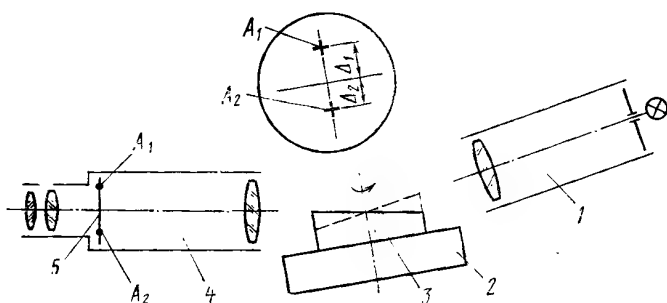


Рис. 7.11. Контроль пирамидальности

Для точного измерения двух и более углов призм используют гониометры. Отечественная промышленность выпускает гониометры (см. рис. 6.2) ГС-30, ГС-10, ГС-5 и ГС-2, где числа (30, 10 и т. д.) показывают номинальную погрешность измерения в секундах.

Для контроля углов призму устанавливают на предметный столик прибора. Измерение углов на гониометре можно выполнять различными методами, например автоколлимационным, последовательной установкой автоколлиматора перпендикулярно граням призм и измерением углов поворота автоколлиматора по лимбу.

В качестве эталонов используют призматические угловые меры или изготовленные на оптических заводах стеклянные установочные угольники с требуемыми углами. Наиболее распространены угольники с углами 90° , 60° , 45° , 30° . Длина рабочих граней угольника 50—70 мм, толщина около 15 мм. Допуск на изготовление углов $10''$ — $30''$.

7.3. Контроль формы и размеров поверхностей

Кривизну сферических поверхностей после грубого шлифования проверяют шаблонами и притирочным инструментом. Поверхности после мелкого шлифования и полирования контролируют сферометрами, пробными стеклами и интерферометрами.

Радиусные шаблоны (рис. 7.12, а, б) изготовляют из листов нержавеющей стали или цементированных углеродистых сталей толщиной 1—2,5 мм. Размеры хорд шаблона и сферического инструмента или блока должны быть одинаковыми. Для контроля сфе-

рической поверхности шаблон накладывают на поверхность в сечении сферы, проходящей через ее центр кривизны. Соответствие кривизны поверхности и шаблона оценивают по величине и форме зазора между ними.

Контроль формы плоских поверхностей оптических деталей и планшайб выполняют с помощью лекальных или стеклянных притирочных линеек тремя способами: на просвет, вращением и притиркой. При контроле на просвет линейку устанавливают на поверхность детали и по величине и форме зазора судят о плоскост-

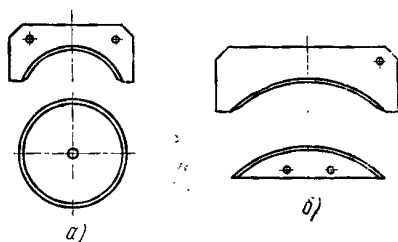


Рис. 7.12. Радиусные шаблоны

ности поверхности. При контроле вращением линейку устанавливают на контролируемую поверхность детали в диаметральной плоскости и осторожно поворачивают вокруг оси детали. Движение линейки будет плавным, если поверхность плоская, легким в случае бугра и затруднительным при яме или волнистой поверхности. По третьему способу линейку слегка прити-

рают к измеряемой поверхности и по оставшимся на ней следам судят о характере неплоскостности.

Контроль кривизны шлифуемых сферических поверхностей притирочным инструментом осуществляют с помощью контрольных чугунных грибов или чашек, радиус которых равен радиусу грибов или чашек, применяемых для последующей обработки. Перед контролем линзы или блок вручную слегка притирают к притирочному инструменту. От притирки на деталях остается темный след. По расположению следа судят о характере отступления обрабатываемой детали от радиуса контрольного притира: если след расположен в центре — бугор, если на краю — яма. По ширине следа судят о величине отступления радиуса сферической поверхности детали от радиуса притирочного инструмента, который измерен сферометром с погрешностью 0,01 мм. Чем шире след, тем это отступление меньше, тем точнее обработана поверхность.

Широко применяемый для контроля сферических поверхностей индикаторный сферометр (рис. 7.13, а) состоит из корпуса 1 с установочным измерительным кольцом 2, вдоль оси которого расположен индикатор 3. Прибор позволяет контролировать кривизну сферических поверхностей сравнительным методом. Для этого сферометр предварительно настраивают по эталонной сфере. Сферометр устанавливают кольцом 2 на эталонную сферическую поверхность, а индикатор закрепляют в положении, при котором стрелка находится на нулевом делении шкалы. Затем сферометр устанавливают на контролируемую поверхность. Отклонение стрелки от нулевого отсчета указывает на отличие радиуса контролируемой сферической поверхности от эталонной. Для заданного допустимого отклонения радиуса обрабатываемой поверхности заранее вы-

числяют соответствующее ему допустимое отклонение стрелки индикатора.

Точное измерение радиусов кривизны выпуклых и вогнутых шлифованных и полированных сферических поверхностей производят на сферометре по схеме, показанной на рис. 7.13, б. Три шарика 6 одинакового диаметра закреплены в сменном измерительном

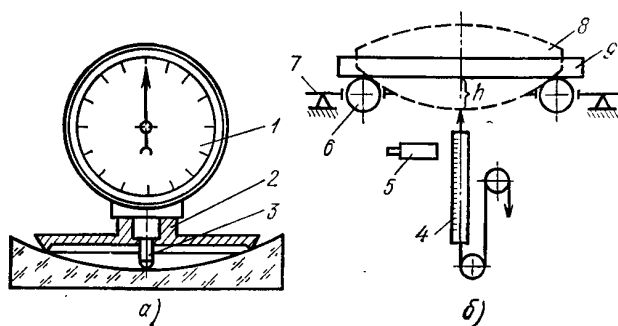


Рис. 7.13. Контроль сферических поверхностей сферометром:

а — настройка по эталону, б — схема измерения

кольце 7 на равных расстояниях под углом 120° . По оси кольца под действием груза перемещается щуп, связанный со шкалой 4. Отсчет по шкале снимают с помощью микроскопа 5, снабженного спиральным окуляр-микрометром. Перед измерениями радиусов кривизны сферической поверхности на шарики измерительного кольца устанавливают пластинку 9 с плоской поверхностью и снимают нулевой отсчет. Затем устанавливают контролируемую деталь 8. Разность полученных отсчетов по шкале дает условную стрелку перегиба h , характеризующую кривизну поверхности. Радиус кривизны R вычисляют по формуле $R = r^2/2h + h/2 \pm \rho$, где r — радиус измерительного кольца; ρ — радиус шариков, который берут со знаком плюс для вогнутых и со знаком минус для выпуклых поверхностей. В комплект сферометра входит набор измерительных колец с номинальными диаметрами 120, 85, 60, 42, 30, 21, 15 мм.

Для контроля кривизны поверхностей крупногабаритных деталей применяют накладной сферометр ИЗС-8, позволяющий проводить измерения радиусов кривизны от 80 до 40 000 мм при относительной погрешности $\pm 0,04$ — $0,5\%$. В комплект сферометра ИЗС-8 входят измерительные кольца с номинальными диаметрами 100, 150, 220 и 300 мм. Цена деления отсчетных устройств сферометров ИЗС-7 и ИЗС-8 равна 0,001 мм.

Контроль полированных поверхностей сферической и плоской формы выполняют на рабочем месте с помощью пробных стекол — стеклянных эталонов, имеющих заранее измеренную кривизну. Контроль производят сравнением радиуса кривизны контролируе-

мой поверхности детали R_d с радиусом кривизны рабочей поверхности пробного стекла R_n (рис. 7.14, а, б). Если эти радиусы незначительно отличаются друг от друга, то при наложении пробного стекла на контролируемую поверхность детали между пробным стеклом и деталью образуется тонкий воздушный промежуток переменной толщины, в котором происходит интерференция света. Возникающая при этом интерференционная картина (рис. 7.14, в), наблюдаемая сверху невооруженным глазом через пробное стекло при освещении белым светом, имеет вид радужных колец. В монохроматическом свете интерференционная картина состоит из чередующихся темных и светлых колец. На заводах

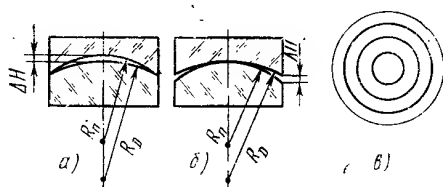


Рис. 7.14. Контроль сферических поверхностей пробными стеклами

рабочие интерференционную картину обычно называют «цветом».

Характер отклонения радиусов R_n и R_d оценивают положением максимального зазора ΔH на поверхности детали. Если максимальный зазор ΔH расположен в центре (рис. 7.14, а), то такое отклонение называют ямой. В этом случае при легком нажатии на пробное стекло интерференционные кольца сходятся к центру. Оптикой такую картину называют узким (или мелким) «цветом».

Когда максимальный зазор ΔH расположен на краю (рис. 7.14, б), при легком нажатии на пробное стекло интерференционные кольца расходятся к краю. Такое отклонение поверхности называют бугром. Интерференционную картину, соответствующую бугру, называют широким (или крупным) «цветом».

Количественно отклонения радиусов R_d и R_n оценивают визуально по числу видимых интерференционных колец. Отступление в одно кольцо соответствует воздушному зазору ΔH , примерно равному 0,25 мкм при освещении зеленым светом ($\lambda = 540$ нм). Рабочие-оптики отклонения радиусов оценивают по числу красных колец, что не вносит существенной погрешности. На рис. 7.14, в отклонение кривизны детали от кривизны пробного стекла равно трем кольцам ($N=3$), что соответствует зазору ΔH , равному примерно 0,75 мкм.

Контроль высокоточных сферических поверхностей, допустимое отклонение радиусов которых задано в долях кольца ΔH , осуществляют с помощью пробных стекол способом, несколько отличным от рассмотренного выше. Чтобы учесть отклонение кривизны в долях кольца, необходимо, слегка прижимая один край пробного стекла, получить между поверхностями пробного стекла и детали воздушный клин. В этом случае интерференционная картина будет состоять из изогнутых интерференционных полос (рис. 7.15, а, б). Степень изогнутости полос зависит от точности обработанной поверхности, а направление изогнутости определяется характером погрешности. Если полосы расположены выпуклостью к месту при-

жима (рис. 7.15, б), поверхность детали имеет вогнутость, или яму. В случае выпуклой поверхности (бугра) полосы расположены вогнутостью к точке прижима (рис. 7.15, а).

Для оценки отклонения поверхности достаточно величину изогнутости полос выразить в долях ширины полосы определенного (обычно красного) цвета. На рис. 7.15 искривленные линии изображают середины полос того цвета, по которому ведут измерение. Отступление обработанной поверхности от эталонной в долях полосы выражают отношением h/H , где H — расстояние между полосами (ширина), h — величина изогнутости, измеренная от начала полосы до вершины ее изгиба. Для определения величины h рабочие проводят мысленно линию AB и на глаз оценивают отношение h/H . На рис. 7.15 приведены интерференционные картины поверхностей с ошибками в одну (а) и 0,5 (б) полосы.

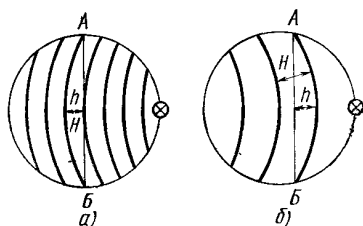


Рис. 7.15. Определение погрешностей формы и размеров по полосам

С помощью пробных стекол легко определяют и оценивают астигматичность поверхности, т. е. отличие кривизны поверхности в различных главных сечениях. Форма и расположение интерференционных картин при астигматизме показана на рис. 7.16. Интерференционные кольца имеют вытянутую эллиптическую форму. Для количественной оценки астигматизма поверхности определяют максимальное отступление кольца от ближайшей вписанной или описанной окружности, деленное на расстояние между кольцами. На рис. 7.16 астигматизм поверхности равен одному кольцу.

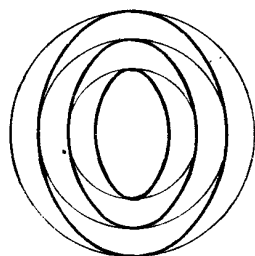


Рис. 7.16. Астигматизм

Если на поверхности детали 1 имеются местные отклонения от сферической формы, то они приводят к местным искривлениям интерференционных полос. Допустимую величину местных ошибок на поверхности задают в долях полосы ΔN и определяют наложением пробного стекла 2 из соотношения стрелки прогиба a местного искривления полосы к ее ширине $H: \Delta N = a/H$. Интерференционные картины характерных местных ошибок показаны на рис. 7.17: a — местная яма — выпуклость местного искривления полос, направлена в сторону вершины воздушного клина; b — местный бугор — вогнутость местного искривления полос, направлена в сторону вершины воздушного клина; $в$ — приподнятый край искривляет полосы на краю, направляя к вершине воздушного клина их выпуклость; $г$ — срыв края искривляет полосы на краю, направляя вогнутости к вершине клина.

Контроль исполнительных поверхностей оптических деталей с помощью пробных стекол является весьма точным и простым методом контроля. Однако его применение требует определенного навыка как при наложении пробного стекла на контролируемую поверхность, так и при оценке полученной интерференционной картины.

Рабочие пробные стекла применяют и для контроля поверхностей, шлифованных микропорошками М14-М7. Пробное стекло укладывают на шлифованную увлажненную дыханием поверхность и слегка прижимают. В зонах с наименьшим зазором влага сма-

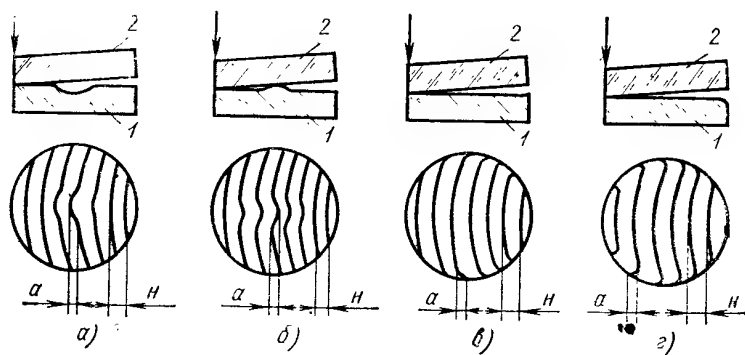


Рис. 7.17. Местные погрешности формы

чивает влажную поверхность детали, делая ее прозрачной, через смоченную зону видна наклеенная смола. Темное кольцо на краю пробного стекла видно при яме, темное пятно в центре пробного стекла — при бугре.

С помощью интерферометров контролируют сферические и плоские поверхности. По сравнению с пробными стеклами интерферометрами проверяют детали больших размеров и с более высокой точностью. Для контроля деталей на оптических заводах используют интерферометры различных конструкций.

На рис. 7.18 показана схема интерферометра ИПП-15 для контроля плоскостей, который состоит из монохроматического источника 1, диафрагмы 2, светофильтра 3, линзы 4, полупрозрачного зеркала 5, объектива 6 и эталонной пластины 7. На рабочей поверхности эталонной пластины в трех точках приклеивают прокладки фольги 8 или напыляют слой металла. Эталонную пластину устанавливают на контролируемую деталь 9. Прокладки обеспечивают равномерный и малый зазор между пробным стеклом и деталью и исключают их соприкосновение. Лучи света от монохроматического источника отражаются от нижней поверхности пробного стекла и верхней поверхности детали, между этими лучами возникает интерференция, картину которой рассматривают через объектив 6 в плоскости диафрагмы 10. Сетка 11 и окуляр 12 служат для настройки интерферометра.

Если точность контроля параллельности и клиновидности пластин автоколлимационным методом недостаточна, применяют интерференционные методы. Схема интерферометра для проверки клиновидности пластин показана на рис. 7.19. Контролируемую пластину 2 устанавливают на столик 1, который может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Раздвижная щель 5, освещаемая монохроматическим источником 6, конденсором 4, призмой 8 и объективом 3, проектируется на нижнюю по-

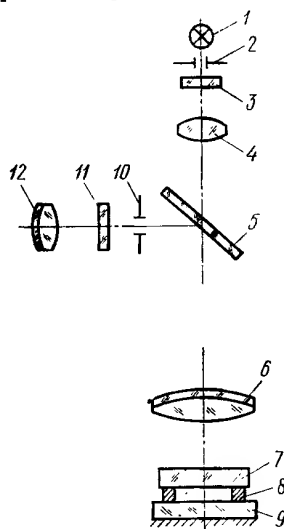


Рис. 7.18. Интерферометр для контроля плоскостей

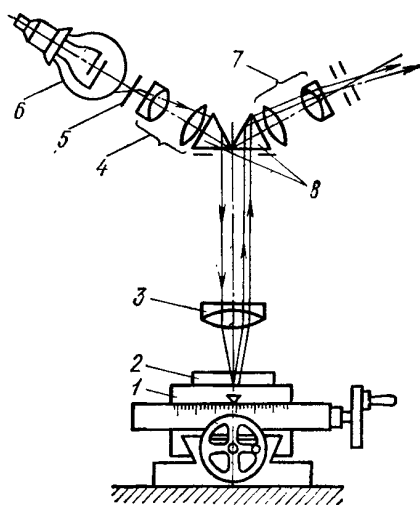


Рис. 7.19. Контроль клиновидности пластин интерферометром

верхность пластины 2. Отраженные от поверхностей пластины лучи интерферируют; интерференционную картину рассматривают через окуляр 7, призму 8 и объектив 3. При перемещении столика интерференционная картина будет оставаться неизменной, если толщина пластины постоянна. При наличии клина интерференционные полосы будут перемещаться в поле зрения окуляра. Для определения клина пластины ее устанавливают на столик так, чтобы ребро клина было параллельно одному из направлений перемещения столика. Затем столик перемещают в направлении, перпендикулярном ребру клина, и по числу интерференционных полос, прошедших в поле зрения окуляра, при известной длине перемещения стола определяют угол клина α по формуле $\operatorname{tg} \alpha = N\lambda / (2nl)$, где N — число полос, прошедших в поле зрения прибора; λ — длина волны света монохроматического источника, мм; n — показатель преломления стекла пластины; l — перемещение стола, мм.

Контроль микрогеометрии обработанных поверхностей. После шлифования на обработанной поверхности не должно быть царапин и следов от предыдущей фракции абразивного порошка или

остатков нешлифованных до конца царапин и точек в виде отдельных глубоких впадин. Не допускается недошлифовка отдельных участков поверхности, которая приводит к закруглению поверхностных неровностей.

Основным методом контроля шлифованных поверхностей является их тщательный осмотр с помощью лупы шестикратного увеличения. Осмотр проводят при освещении лампой 60—100 Вт или посредством специального осветительного устройства («солнца») с сильным конденсором.

Полированные поверхности деталей в процессе обработки и на операционном контроле проверяют без разблокировки в скользящем или отраженном свете с помощью луп шести- и десятикратного увеличения при тех же условиях освещения.

При наблюдении полированной поверхности необходимо сфокусировать лупу на отражение волоска осветительной лампы от крайних зон проверяемой поверхности. При этом около волоска будут видны и дефекты поверхности: точки, царапины и т. п. Затем постепенно, не нарушая фокусировки, просматривают всю поверхность.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об измерении штангенциркулем.
2. Что такое оптиметр?
3. Для чего применяют концевые меры?
4. Какие угломеры используют для контроля оптических деталей?
5. Как контролируют форму шлифованных поверхностей?
6. Что такое пробные стекла?
7. Укажите назначение интерферометров.

IV. ОПЕРАЦИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

8. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

8.1. Типы производства

По характеру организации работ на производственном участке различают три основных типа производства: массовое, серийное и единичное. Тип производства на участке определяется номенклатурой деталей и производственной программой, на которую рассчитан участок.

Массовое производство. Главной особенностью массового производства является то, что каждый станок на участке выполняет только одну закрепленную за ним операцию и для других операций не используется. При массовом производстве в течение длительного времени (нескольких лет) выпускается большое количество одинаковых деталей. Программа выпуска этих деталей в год исчисляется многими тысячами. Массовым производством в оптических цехах является производство линз для объективов «Индустар 50», «Гелиос 40», призм для биноклей и т. д.

Массовое производство характеризуется применением универсальных и специальных станков и приспособлений. Эти станки не переналаживают, так как на них обрабатывают все время одни и те же детали. При массовом производстве оправдываются в экономическом отношении большие затраты на специальную оснастку и станки.

Существует разновидность массового производства — так называемое поточное производство. При непрерывно-поточном производстве время выполнения каждой операции на отдельных станках равно или кратно, детали передаются от одного станка к другому непрерывно или потоком. Если при этом оборудование, на котором изготовляют детали, расставлено на участке в соответствии с последовательностью выполнения операций технологического процесса, то такое расположение называют поточной линией. Подробнее о поточных линиях см. 21, 21.4. Для массового производства разрабатывают подробные технологические процессы для каждой детали индивидуально.

Серийное производство. Этот тип производства характеризуется тем, что на каждом станке участка обрабатывают не одну какую-то деталь, а несколько. Поэтому станки для нескольких операций переналаживают перед каждой новой операцией. Следовательно, продолжительность работы станка между переналадками зависит от размера партии и времени обработки. В серийном производстве детали обрабатывают партиями (сериями). Партией называют количество деталей одного наименования, запускаемых в обработку одновременно.

При серийном производстве выпуск партий изделий регулярно повторяется через определенные промежутки времени. В зависимости от количества деталей в годовой программе различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное типы производства. Крупносерийное производство по своим особенностям приближается к массовому, а мелкосерийное — к единичному.

Единичное производство. Этот тип производства характеризуется изготовлением единичных экземпляров изделий, разнообразных по конструкции или размерам. Технологический процесс детали, осуществленный однажды, больше уже никогда не повторяется или повторяется через неопределенный промежуток времени. При единичном производстве используют универсальные или специальные, но легкопереналаживаемые и упрощенные станки. Оптические заводы имеют все типы производства — от единичного до массового.

8.2. Технологический процесс и его разработка

Элементы процесса изготовления оптической детали. Технологический процесс — это часть производственного процесса, непосредственно связанная с последовательным изменением физического состояния заготовки, ее формы и размеров для превращения в оптическую деталь.

Производственный процесс — понятие более широкое, включающее в себя кроме технологического процесса все другие вспомогательные процессы, подготовку производства, контроль, цеховой и заводской транспорт и т. д.

Основным элементом технологического процесса является операция. Операция — это часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте до начала обработки следующей детали. Шлифование, полирование, промывка, нанесение фасок, центрирование, нанесение покрытия — это все отдельные операции изготовления оптической детали. Каждая операция может состоять из нескольких переходов.

Переход — это часть операции, в течение которой обрабатывают одну и ту же поверхность детали, одним и тем же инструментом, при неизменном режиме работы станка. Например, шлифование сферической поверхности линзы на шлифовально-полировальном станке осуществляют в несколько переходов: абразивами № 6, М28, М10. Полирование этой сферической поверхности хотя и производят на том же станке, но такой вид обработки является другой операцией, так как выполняется другим инструментом (полировальником) и при других режимах. Все операции и переходы осуществляют с применением некоторых приемов. Прием — совокупность отдельных движений в процессе выполнения работы: пуск станка, его останов, включение подачи СОЖ и т. д.

Рабочее место — это часть производственной площади, закрепленной за рабочим и оснащенной оборудованием, оснасткой, инструментами, тарой и т. д. для выполнения заданной операции.

Разработка технологического процесса. Для разработки процесса изготовления какой-либо оптической детали необходимо иметь чертеж оптической детали, содержащий все требования к детали, чертеж заготовки, характеристику имеющегося на предприятии оборудования, размер партии выпускаемых изделий и руководящие технические материалы. Разработка технологического процесса должна обеспечивать изготовление качественных деталей, высокую производительность и безопасность труда, наименьшую себестоимость выпускаемой продукции.

Основными документами, отражающими технологический процесс, являются технологические карты, маршрутные и операционные. В маршрутной карте указывают перечень всех операций технологического процесса в порядке их выполнения. Операционную карту составляют отдельно на каждую технологическую операцию. Основным в этой карте является эскиз обработки детали. Деталь вычерчивают в том виде, в котором она получается после завершения данной операции. На эскизе должны быть проставлены все выдерживаемые размеры, классы точности, допуски, посадки, шероховатость обработки и другие необходимые требования. Все другие сведения (режимы обработки, нормы времени, шифр станка, инструмент и т. д.) указывают в соответствующих графах карты.

Для контрольных операций составляют специальные карты

контроля, которые помещают в тех местах процесса, где группа ранее выполненных операций должна подвергаться проверке. Порядок контроля и предусмотренные для этого измерительные инструменты указывают в соответствующих графах карты.

Существует три системы технологических процессов: индивидуальная, типовая и групповая. Индивидуальные технологические процессы разрабатывают в условиях массового и крупносерийного производства для каждой детали отдельно и предусматривают также разработку всего комплекса технологической оснастки для обрабатываемой детали.

Типовые технологические процессы разрабатывают для деталей одного класса, близких по конструкции, размерам, точности и общности их производства. Например, прямоугольные призмы биноклей различных названий имеют небольшие конструктивные особенности и составляют один класс деталей. В типовой процесс включают основные элементы конкретного технологического процесса: крепление детали в приспособлении, последовательность операций, тип оборудования и оснастки и т. д. На основе типового технологического процесса можно составить конкретный процесс любой детали данного класса. Типовые процессы сокращают сроки подготовки производства, их применяют для серийного и мелкосерийного производства.

В групповых технологических процессах за основу берут не отдельную деталь, а группу технологически сходных деталей. Сам технологический процесс разрабатывают для комплексной детали, отвечающей всем требованиям группы деталей. Групповые процессы используют в мелкосерийном производстве.

8.3. Базирование при обработке оптических деталей

При конструировании, изготовлении и сборке оптических деталей большое значение имеют базовые поверхности или сокращенно базы. Базами называют поверхности, относительно которых определяют положение других поверхностей. Базы могут быть реальными, к которым относят действительно существующие, не воображаемые, поверхности детали, и условными, представляющими геометрические элементы детали — осевые линии, биссектрисы углов и т. д. Различают конструкторские, сборочные, установочные и измерительные базы.

Конструкторской базой называют поверхность, линию и точку, определяющие взаимную связь и положение элементов детали относительно других ее поверхностей. Эти базы могут быть реальными и условными. От них на чертежах проставляют основные размеры. Например, для линз такими базами являются полированные сферические или плоские поверхности и оптическая ось линзы.

Сборочной базой называют поверхность или совокупность поверхностей, линий и точек, с помощью которых деталь ориенти-

руют относительно других деталей при сборке. У линз, входящих в оптическую систему прибора, это боковые цилиндрические поверхности, предназначенные для крепления их в оправе, и сами полированные поверхности линз, в которые упираются торцы промежуточных колец и втулок.

Измерительной базой называют поверхность, от которой производят отсчет размеров. В оптике эти базы чаще всего совмещены с поверхностями, которые контролируют пробными стеклами на сферометрах или интерферометрах.

Установочная база (или базирующийся элемент) — это поверхность, линия и точка, ориентирующие заготовку при обработке относительно инструмента. Придаваемое заготовке положение называют базированием. Установочная база может быть основной и вспомогательной. Основной установочной служит база, используемая при сборке прибора. Например, сферическая поверхность линзы может применяться в качестве базы при обработке и сборке. Вспомогательной установочной называют базу, которая предназначена только для установки детали в процессе ее обработки и не служит в качестве базы при сборке. Например, боковая поверхность призмы, которую используют для крепления при установке в прибор.

Установочные и измерительные базы часто называют технологическими, так как их применяют в технологических процессах изготовления деталей при обработке и контроле. По месторасположению в технологическом процессе установочные базы могут быть черновыми, чистовыми и дополнительными. Черновая технологическая база служит для выполнения первой операции при креплении на необработанную поверхность заготовки. Чистовую технологическую базу используют для установки детали по ранее обработанной поверхности. Дополнительные технологические базы — это части детали, необходимые для улучшения и упрощения установки ее на станке или в приспособление. Обычно к таким базам относят дополнительные грани, углубления сложных по форме деталей и многогранных призм.

Выбор технологических баз — ответственная задача технолога или рабочего, при осуществлении которой необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Базовые поверхности должны иметь достаточную протяженность, для обеспечения устойчивого положения детали при ее обработке и контроле.

2. Черновую базу необходимо использовать только для выполнения первой операции. Если все поверхности детали механически обрабатываются, то в качестве черновой базы рекомендуется применять поверхность с наименьшим припуском.

3. Следует стремиться к выполнению принципа совмещения баз. Установочную измерительную и сборочную базы по возможности необходимо совмещать, это обеспечивает получение наименьших погрешностей при обработке и контроле детали.

4. Необходимо стремиться к соблюдению принципа постоянст-

на баз, так как высокой точности можно достигнуть в случае выполнения всех операций от одной базы при одной установке.

Контрольные вопросы

1. Перечислите типы производства.
2. Чем массовое производство отличается от серийного, а серийное от единичного?
3. Что такое технологический процесс? Назовите его основные элементы.
4. Какие системы технологических процессов используют в оптическом производстве?

9. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

9.1. Шлифование свободным абразивом

Стекла и другие хрупкие оптические материалы шлифуют свободным абразивом, используя жесткий металлический инструмент 1 (рис. 9.1), который давит на заготовку 4 с силой P и перемещается с относительной скоростью v . Между заготовкой и инструментом располагаются зерна 2 абразивного порошка, смешанные с жидкостью 3. При перемещении инструмента по заготовке они взаимно изнашиваются под действием абразивных зерен и притираются друг к другу.

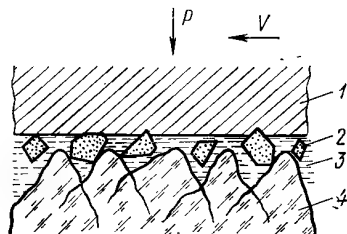


Рис. 9.1. Шлифование свободным абразивом

Природа обработки стекла водными суспензиями зерен абразивных порошков имеет двойной характер. С физической стороны — это процесс механического разрушения стекла абразивными зернами. С химической стороны — это взаимодействие воды с растворимыми компонентами стекла.

Основой механического разрушения стекла является возникновение внутри поверхностного слоя хрупкого тела трещин, пересекающихся между собой и создающих ослабление связей между соседними частицами материала. Абразивные зерна вместе с водой находятся между рабочей поверхностью металлического инструмента и обрабатываемой поверхностью стекла. Эти поверхности имеют неровности, размеры которых соизмеримы с размерами абразивных зерен. При относительном движении стекла по инструменту абразивные зерна перекатываются или проскользывают с некоторой скоростью.

Наиболее крупные из зерен взаимодействуют со стеклом и инструментом. Более мелкие зерна переносятся водой до тех пор, пока крупные не раздробятся, после чего и мелкие зерна вовлекаются во взаимодействие со стеклом и инструментом.

Под действием ударов зерна раскалываются на более мелкие. Зерна взаимодействуют не только со стеклом и инструментом, но

и между собой, перетираясь и еще более измельчаясь. Измельченные зерна, смешанные с осколками стекла, уносятся из-под шлифовальника вместе с водой.

На обрабатываемой поверхности создается разрушенный слой, верхняя часть которого (рельефный слой) состоит из впадин и конических выступов и трещиноватого слоя. Разрушение происходит после многократного воздействия абразивных зерен на одно и то же место стекла. Образующиеся трещины пересекаются и между ними образуется объем, отошедший от остальной соседней массы стекла. Этот объем под действием абразивных зерен и воды удаляется с поверхности стекла. Высота поверхностных неровностей составляет примерно $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ размера зерен. Под рельефным слоем образуется трещиноватый слой глубиной в 2—4 раза больше первого. По мере измельчения абразивных зерен величина поверхностных неровностей уменьшается.

Равномерность структуры шлифованной поверхности нарушается дефектами — царапинами, точками и выколками. Они образуются в том случае, когда зерно надолго закрепляется в шлифовальнике или имеются зерна размером в несколько раз больше, чем зерна основной фракции. В последнем случае крупные зерна не раскалываются и оставляют на стекле крупные царапины и выколки.

Химическое взаимодействие воды с растворимыми компонентами стекла проявляется в том, что вода активно вступает в реакцию с поверхностным слоем стекла, образуя внутри трещин коллоидную пленку кремневой кислоты, которая занимает объем больший, чем стекло. Таким образом, вода расширяет и углубляет трещины, ускоряя и облегчая удаление осколков стекла при абразивной обработке.

9.2. Шлифование закрепленным абразивом

На заготовительных операциях, а в последнее время и на операциях среднего и мелкого шлифования, используют инструменты с закрепленным абразивом. Особенно широко этот способ обработки стал применяться в оптической промышленности после появления синтетических алмазных порошков. Это позволило наладить выпуск алмазных инструментов, в которых алмазные зерна 2 (рис. 9.2) определенной крупности жестко закреплены в теле инструмента металлической связкой из сплавов меди и железа.

Шлифование таким инструментом 1 (рис. 9.2) производится на станке при перемещении его по заготовке 5 со скоростью v и давлением P . Между инструментом и заготовкой находятся вырванные из связки абразивные или алмазные зерна 3 и слой смазочно-охлаждающей жидкости 4. Кроме силового воздействия инструмента на заготовку он подается на глубину снимаемого припуска с помощью механизма поперечной подачи станка.

Процесс обработки закрепленным абразивом отличается от способа обработки свободным абразивом. Быстро движущиеся и

жестко закрепленные в инструменте абразивные зерна при врезании в обрабатываемую поверхность образуют трещины, опережающие перемещение зерен. В результате на поверхности возникают выколки, которые обуславливают сьем материала заготовки.

Закрепленные зерна с течением времени затупляются, усилие резания увеличивается, и они выкрашиваются из связки, но не раскалываются. Вместо них вступают в работу новые зерна того же размера, и процесс шлифования идет с равномерной интенсивностью.

Обработка таким способом сопровождается значительным нагревом контактирующих поверхностей и образованием большого количества отходов. Для уменьшения температуры и трения между инструментом и заготовкой, а также для удаления отходов в процессе шлифования применяют обильную подачу смазочно-охлаждающей жидкости.

Удельный объем удаляемого припуска пропорционален крупности, твердости, прочности абразивных зерен и связки. Стекло обрабатывается закрепленными абразивными зернами приблизительно в 20 раз быстрее, чем свободными. Большая скорость шлифования стекла закрепленным абразивом по сравнению с обработкой свободным абразивом объясняется различными причинами.

Закрепленный абразив вызывает не разрозненные точечные выколки, а сплошные царапины. Закрепленные абразивные зерна работают как резцы. Закрепленные зерна разрушаются только при воздействии на стекло, а свободные измельчаются и от взаимного перетирания. Неоднородность размеров зерен при данном способе не проявляется, поскольку они работают только выступающими из связки острыми гранями. Рабочее давление инструмента сосредоточивается на небольшом участке поверхности зерен, выступающих из связки, и достигает значительных величин. Скорость резания закрепленным абразивом составляет от 10 до 50 м/с, а свободным абразивом 3—7 м/с.

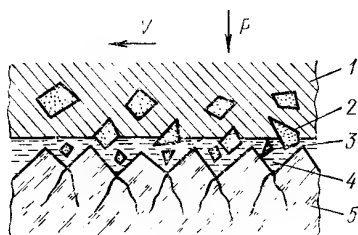


Рис. 9.2. Шлифование закрепленным абразивом

9.3. Полирование

Процесс полирования оптических деталей связан с достижением величины микронеровностей значительно меньшей длины волны света, т. е. менее 0,05 мкм. В этом случае поверхность становится прозрачной для оптического излучения. Кроме того, погрешности формы и размеров этой поверхности также составляют доли микрометра.

В процессе полирования (рис. 9.3) упругопластичный слой 2 (обычно смола, сукно или фетр) полировальника 1, пластически деформируясь, выравнивается по шлифованной поверхности заго-

товки 5. Зерна 3 полирующего порошка находятся между полировальником и заготовкой, поверхностные неровности которых значительно больше зерен полирующего порошка. Размеры зерен порошка обычно лежат в пределах от 0,5 до 2 мкм.

Вода 4, в которой взвешены зерна, в первые моменты подачи оказывает противодавление нажиму, но затем растекается и зерна закрепляются в наружном слое смолы. Часть зерен, еще не закрепившихся в смоле, перекачивается или, закрепившись на мгновение, продолжает движение.

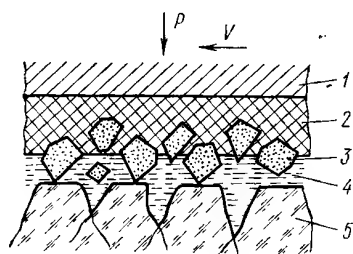


Рис. 9.3. Полирование

Зерна срезают вершины рельефного шлифованного слоя, которые становятся гладкими, полированными. В дальнейшем размеры полированных площадок увеличиваются, высота неровностей уменьшается до сотых долей микрометра.

В начале процесса полирования работа закрепленных зерен эффективнее, так как площадь впадин еще велика и перекачиваемым зернам негде закрепляться. Толщина сдираемых пленок уменьшается при расширении площади полированных участков и к концу процесса обработки приблизительно равна высоте остающихся поверхностных неровностей. Под действием воды коллоидная пленка образуется и сдирается вновь все более тонкими слоями.

Пластические свойства смолы, удерживающей зерна, и коллоидной пленки способствуют тому, что работа зерен полирующего порошка не сопровождается появлением царапин. Благодаря пластическим свойствам коллоидной пленки борозды, образующиеся от снятия материала, затягиваются и заполняются продуктами разрушения стекла.

9.4. Электрофизические методы обработки

Электрофизические методы обработки оптических деталей из металлов, различных сплавов, металлокерамики и других материалов имеют ряд особенностей по сравнению с механической обработкой оптических деталей.

На производительность влияют не механические, а физические и химические свойства материалов: теплопроводность, валентность и т. д. Отсутствует необходимость в специальных инструментах или абразивах более твердых, чем обрабатываемый материал. Малый износ инструментов. Значительно сокращаются отходы материалов. Особенно большое значение это имеет при обработке дорогостоящих материалов, таких, как кремний, германий, рубин, кварц, алмаз и другие монокристаллы. Сокращается также потребность в дорогостоящих абразивах, алмазе и т. д. Повышается качество обработки по сравнению с механическими методами, уменьшаются микротрещины, наклеп, коррозия и т. п.

Электрохимическая обработка. Этот вид обработки основан на явлениях электролиза, т. е. явлениях, имеющих место при прохождении электрического тока через растворы электролитов. В большинстве современных методов обработки используют процесс анодного растворения, т. е. переход металла, помещенного в ванну с электролитом в качестве анода, из металлического соединения в различные неметаллические соединения (соли, окислы и т. д.). На поверхности обрабатываемого изделия 1 (рис. 9.4) образуется плохо проводящая ток пленка 2, заполняющая поверхностные впадины, но не препятствующая анодному растворению выступающих гребешков. В ванну 5 заливают электролит 3 (обычно растворы солей). В качестве катода 4 используют металлы.

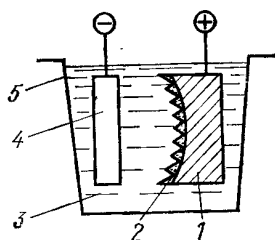


Рис. 9.4. Электрохимическая обработка

Электрохимически полированная поверхность свободна от деформированного слоя и других структурных и химических изменений. Поэтому поверхность детали обладает более высокой коррозионной стойкостью по сравнению с механически полированной поверхностью.

Одним из преимуществ электрохимического полирования является относительная технологическая несложность; использование стандартного гальванотехнического оборудования, возможность одновременной обработки больших площадей и изделий сложной формы; отсутствие необходимости в специальном инструменте и т. д. При нанесении покрытий из других металлов предварительное электрополирование повышает прочность сцепления покрытия с подложкой.

Недостатками являются невысокая удельная производительность и затруднительность форсирования ее повышением плотности тока; чувствительность к изменениям состояния и состава электролита, существенное влияние состояния обрабатываемой поверхности на качество получаемой поверхности; трудность достижения шероховатости меньше $Rz\ 0,04$ мкм. Поэтому электрохимически обработанную поверхность называют условно полированной.

Анодно-механическая обработка (АМО). При этом способе обработки электрохимическое растворение сочетается с механическим удалением продуктов растворения. При сближении двух электродов 1, 4 и наличии между ними электролита 3 происходит разрушение анода (анодное растворение) во время прохождения тока. Если электроды неподвижны, процесс разрушения быстро замедляется (рис. 9.5), так как образующаяся пленка 2 плохо проводит ток и изолирует электрод один от другого. Если же, прилагая небольшие механические усилия, удалить образующиеся продукты движением инструмента 4, то процесс обработки протекает непрерывно, обнажающийся металл разрушается далее.

Подачу инструмента осуществляют так, чтобы зазор между

электродами был заполнен тонкой прослойкой электролита, которая предотвращает контакт инструмента с деталью. В качестве электролита используют жидкое стекло. Материалом инструмента является медь, которая по сравнению со сталью обладает более высокой электропроводностью, значительно меньше изнашивается — на 10—30% износа заготовки. На поверхности инструмента делают канавки 5 для лучшей циркуляции электролита. Шероховатость поверхности при анодно-механическом шлифовании достигает по Ra 0,7 мкм.

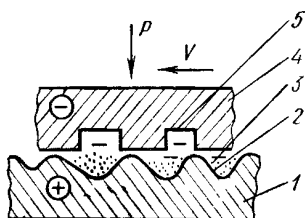


Рис. 9.5. Анодно-механическая обработка

Разновидностями АМО являются электроабразивные и электроалмазные процессы обработки с применением токопроводящих абразивных кругов вместо металлического диска. Связку круга изготавливают из металлического порошка или смеси графита с бакелитом.

К достоинствам электроабразивной обработки относят малую шероховатость, определяемую размером зерен; работу на безопасных напряжениях, низкую плотность тока, исключающую тепловые воздействия.

Электроалмазная обработка дает еще более высокие показатели по производительности. Скорость обработки 20—30 м/с. Наличие малых зазоров (0,01—0,03 мм) между электродами позволяет довести плотность тока до 300—500 А/см², что обеспечивает высокую производительность (до 2000 мм³/мин) при шероховатости поверхности по Ra менее 0,7 мкм. Износ инструмента небольшой (0,1—2%), алмазоносный слой до 3 мм, концентрация алмаза до 100% и выше. Шлифуют совместно твердый и мягкий материалы, инструмент не засаливается.

Электроабразивная обработка дает еще более высокие показатели по производительности. Скорость обработки 20—30 м/с. Наличие малых зазоров (0,01—0,03 мм) между электродами позволяет довести плотность тока до 300—500 А/см², что обеспечивает высокую производительность (до 2000 мм³/мин) при шероховатости поверхности по Ra менее 0,7 мкм. Износ инструмента небольшой (0,1—2%), алмазоносный слой до 3 мм, концентрация алмаза до 100% и выше. Шлифуют совместно твердый и мягкий материалы, инструмент не засаливается.

9.5. Припуски

Понятие о припуске. Технологический процесс механической обработки оптических деталей состоит из нескольких операций, которые выполняют на одном определенном рабочем месте. Таких операций обычно не менее трех: заготовительные, шлифование и полирование.

Готовые детали получают из заготовок, последовательно удаляя с их поверхностей материал. Причем на каждом переходе с заготовки удаляют определенный слой материала, вследствие чего ее размеры и масса уменьшаются, а обрабатываемые поверхности постепенно приобретают форму и размеры готовой детали. Для суждения о разности размеров заготовки и детали введено понятие о припусках.

Припуском называют избыточный (сверх размера детали по чертежу) слой материала заготовки, удаляемый в процессе обработки. Как правило, припуск назначают на сторону в виде слоя

материала по толщине. Припуск может быть с двусторонним и односторонним расположением.

Для экономии материала, удешевления обработки детали, обеспечения эффективности технологического процесса припуск необходимо назначать, исходя из условий получения требуемого качества обеспечения наименьшей трудоемкости обработки. Увеличенные припуски на обработку приводят к ненужным затратам времени, материала, энергии и абразивного порошка, что увеличивает себестоимость изделия. Уменьшение припуска удешевляет продукцию, однако при занижении припуска затрудняется технология обработки детали, не гарантируется удаление дефектного и трещиноватого слоя материала, не обеспечивается требуемая точность и заданная шероховатость поверхностей, что повышает себестоимость изделия.

Величину припуска определяют в зависимости от материала заготовки, вида, размеров, величины дефектного слоя на обраба-

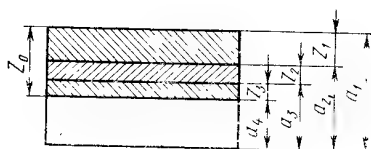


Рис. 9.6. Схема расположения межоперационных припусков

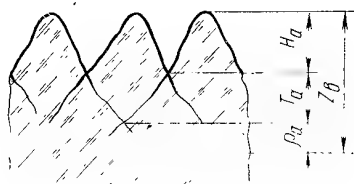


Рис. 9.7. Распределение припуска на одну сторону заготовки

тываемой поверхности, формы детали, требуемой точности и заданной шероховатости, сложности процесса обработки и других факторов.

Распределение припуска. Различают общие, межоперационные и межпереходные припуски. Общий припуск равен разности размеров заготовки и детали. Межоперационным или межпереходным припуском называют слой материала, снимаемый при выполнении определенных операций или переходов.

Численно межоперационный припуск равен разности размеров заготовки, полученных при двух смежных операциях. Например, при обработке плоской поверхности пластины (рис. 9.6) $z_1 = a_1 - a_2$; $z_2 = a_2 - a_3$; $z_3 = a_3 - a_4$, где z_1, z_2, z_3 — межоперационные припуски; a_1, a_2, a_3, a_4 — межоперационные размеры. Общий припуск $z_0 = a_1 - a_4$ определяют как сумму всех межоперационных припусков $z_0 = z_1 + z_2 + z_3$.

Величину припуска на сторону заготовки определяют из зависимости (рис. 9.7) $z_b = (H_a + T_a) + (\rho_a + \xi)$, где z_b — минимальный припуск на обработку (на сторону); H_a — высота микронеровностей, которая зависит от величины зерен абразива, материала инструмента и других факторов предыдущей обработки; T_a — толщина дефектного поверхностного слоя; ρ_a — суммарное значение пространственных отклонений обрабатываемой поверхности; ξ — по-

грешность на установку заготовки. Последнюю сумму двух слагаемых обычно принимают равной одной пятой от суммы первых двух слагаемых. Если заготовку обрабатывают с двух сторон, то припуск на две стороны удваивают. Значение ($H_a + T_a$) для прессовок принимают равным 0,3—0,5 мм, после обдирки 0,1—0,3 мм, среднего шлифования 0,02—0,05 мм.

Если при обработке плоских поверхностей припуск снимают в основном равномерными слоями, за исключением удаления погрешностей угловых размеров, то при обработке сферических поверхностей это выполняют как равномерными, так и неравномерными слоями. Экономически целесообразно снимать припуск со

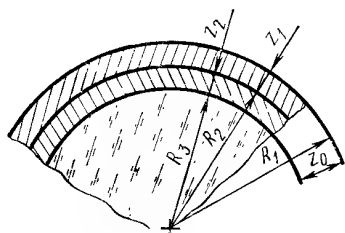


Рис. 9.8. Расположение припуска на сферической поверхности

сферических поверхностей равномерными слоями, но в этом случае для каждого перехода (рис. 9.8) необходимо назначать различные радиусы ($R_1 - R_3$) шлифовальников, которые рассчитывают по определенным формулам (см. 10, 10.2). Если же припуск снимают инструментами одного радиуса, то толщина удаляемого слоя будет неравномерной, причем для выпуклых поверхностей она в центре будет мак-

симальной, а для вогнутых — минимальной.

В оптическом производстве теория переходов устанавливает связь между крупностью зерна абразива, толщиной слоя абразива, высотой микронеровностей и дефектного слоя со значениями радиусов кривизны шлифовальников и детали для каждого перехода. Обрабатываемые поверхности заготовок или блоков, у которых отношение диаметра к радиусу кривизны менее 0,8, шлифуют одним инструментом, используя разные микропорошки. Это объясняется тем, что изменение радиусов шлифовальников невелико и не сказывается при смене переходов.

Контрольные вопросы

1. Как свободный абразив разрушает стекло?
2. В чем отличие шлифования свободным и закрепленным абразивом?
3. Чем отличается шлифовальник от полировальника?
4. Что такое переход при шлифовании?
5. Как рассчитывают припуски?

10. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Оптические детали изготавливают с применением различного инструмента и технологической оснастки, способствующей установке и закреплению заготовок для обработки. Заготовительные операции, обработку вспомогательных поверхностей, грубое и среднее шлифование осуществляют инструментом со связанным абразивом, чаще алмазным. Тонкое шлифование и полирование предполагает использование водных суспензий порошков абразивов.

10.1. Алмазный инструмент

Характеристики алмазного инструмента. Алмазный инструмент для обработки оптических деталей состоит из основы (металлического корпуса), к которой прочно прикреплен алмазоносный слой. Алмазоносный слой — это связующее вещество, закрепляющее алмазный порошок на металлическом корпусе. Металлический корпус из стали или сплавов алюминия формой и конструкцией согласуется с формой и конструкцией узлов крепления обрабатывающих станков. К основным характеристикам алмазоносного слоя, определяющим его эксплуатационные свойства, относят сорт или марку алмаза, зернистость алмазного порошка, связку, ее природу, механические и физико-химические свойства, концентрацию алмаза в связке.

Сорт или марку алмаза природного или синтетического выбирают с учетом его работоспособности и эффективности обработки.

Зернистость алмазного порошка определяет производительность обработки и шероховатость обработанной поверхности, т. е. по зернистости алмазного порошка оценивают эффективность применения инструмента.

Связка создает необходимую прочность закрепления зерен алмаза в инструменте и, следовательно, обеспечивает работоспособность инструмента. Состав связки выбирают с учетом свойств обрабатываемого материала, режимов обработки, свойств и эффективности СОЖ, а также требуемого качества обработки. Существуют металлические (М), керамические (К) и органические (О) связки алмазного порошка. Чаще используют металлические связки, получаемые прессованием с последующим спеканием порошков металлов или их сплавов с равномерно распределенными в них зернами алмаза. Металлические связки обозначают буквой М с цифровыми и буквенными показателями, например, М1, М10, МЖ, характеризующими состав и свойства связки. Для изготовления связок используют порошки меди, олова, железа, никеля, кобальта, цинка, алюминия и др. Например, связка М1 состоит из 80% меди и 20% олова; связка МЖ — из 51% железа, 32% меди, 8% олова и 9% никеля. Особым видом металлических связок являются слои металла, чаще никеля, получаемые гальваническим осаждением из электролита на корпус инструмента. При этом взвешенные в электролите зерна алмаза прочно закрепляются в слое металла. Такой инструмент обладает высокой прочностью и достаточной износостойкостью.

Концентрация алмазного порошка в инструменте определяет объемное или весовое содержание его в связке. Высокая абразивная способность алмаза позволяет изготавливать инструмент со средним содержанием алмаза в связке до 25% объема, что условно принято за 100%-ную концентрацию алмаза в инструменте. Такая концентрация предусматривает содержание в 1 см³ алмазного слоя 4,4 кар (1 кар=0,2 г) алмаза.

Стоимость алмазного инструмента прежде всего зависит от весового содержания в нем алмаза. Концентрация алмаза влияет на производительность обработки, срок эксплуатации инструмента. Концентрацию выбирают с учетом формы рабочей поверхности инструмента, зернистости алмазного порошка, износостойкости связки. Для обработки оптических деталей концентрацию алмаза в инструменте повышают с увеличением зернистости и наоборот. В основе такого подхода лежат условия обработки. С увеличением зернистости при постоянной концентрации алмаза число зерен на единице площади рабочей поверхности инструмента уменьшается. Производительность обработки снижается, а увеличение нагрузки на каждое зерно возрастает, что ускоряет износ инструмента. С уменьшением зернистости при той же концентрации алмаза число зерен, участвующих в обработке, увеличивается, но производительность обработки снижается, так как уменьшается пространство, в котором располагаются продукты износа, и нарушается режим самозатачивания инструмента. Ориентировочное соотношение зернистости и концентрации алмаза в инструменте приведено ниже.

Зернистость . . .	10/7— —20/14	28/20— —50/40	63/50— —100/80	125/100— —160/125	200/160 и более
Концентрация, % . .	10	20—25	50—75	75—100	100 и более

Изготовление алмазного инструмента. Алмазный инструмент изготавливают прессованием или методами порошковой металлургии, гальваностегией, насечкой, закреплением одиночного алмаза в оправке.

Изготовление инструмента прессованием и методами порошковой металлургии начинают с точения металлического корпуса. При этом должны быть обеспечены заданная точность посадки инструмента на шпиндель станка и достаточная прочность соединения с алмазосносным слоем, что достигается фигурным точением пазов и рисков с последующим образованием на несущей поверхности корпуса безалмазного слоя, близкого по составу к связке. Большинство связок содержит медь, поэтому на несущую поверхность корпуса электролизом осаждают слой меди.

Приготовление шихты начинают с просеивания металлических порошков, входящих в состав связки. Связки для инструмента из алмазных порошков изготавливают из шихты с крупностью зерен 40—100 мкм. Фракции менее 40 мкм используют для инструмента из алмазных микропорошков.

Задавшись объемом алмазосносного слоя, рассчитывают массы металлических и алмазных порошков, составляющих связку. Компоненты связки тщательно перемешивают в барабанных, вибрационных или других смесителях. Порошки увлажняют для лучшего сцепления частиц смешиваемых материалов, различных по своей плотности. В качестве увлажняющей жидкости используют 20%-ный раствор глицерина в спирте или какой-либо другой раствор, испаряющийся или выгорающий при дальнейшей термообработке.

Шихту прессуют в пресс-форме, точно изготовленной по форме и размерам инструмента (рис. 10.1). Корпус инструмента 2 устанавливают в матрицу 1, куда помещают вкладыш 3. Соприкасающуюся с шихтой поверхность пресс-формы покрывают графитовой смазкой, чтобы предотвратить налипание порошков связки. Засыпают шихту 4, устанавливают пуансон 5 и производят прессование. Прессуют при нормальной температуре и давлениях от 196 до 94 Па. После брикетирования полученное плотное и прочное соединение спекают нагревом пресс-формы до температур плавления компонентов связки ($600\text{--}1500^\circ\text{C}$), а затем уплотняют давлением, равным половине давления брикетирования, при температуре $500\text{--}600^\circ\text{C}$, предварительно выдержав (1—3 ч) пресс-форму при температурах спекания. После медленного охлаждения инструмент извлекают из пресс-формы.

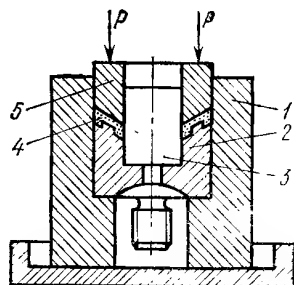


Рис. 10.1. Изготовление алмазного инструмента прессованием

Прессованная рабочая поверхность инструмента получается ровной и гладкой, так как зерна алмаза располагаются на одном уровне со связкой. Зерна алмаза вскрывают, удаляя связку с поверхности инструмента шлифованием свободным абразивом, абразивным бруском или поверхностным растворением в азотной, серной кислоте или их смесью.

Инструмент контролируют, осматривая зерна на рабочей поверхности с помощью лупы или микроскопа в зависимости от зернистости. При этом определяют соответствие зернистости, ориентировочно оценивают концентрацию и устанавливают равномерность распределения зерен по поверхности. Алмазосодержащий слой не должен иметь трещин, раковин, выкрашиваний и других дефектов. С помощью твердомера проверяют твердость связки.

Инструмент балансируют, определяя величину и положение дисбаланса на балансировочных машинах и удаляя требуемую массу с поверхностей, оговоренных чертежом. Предельное значение дисбаланса предусматривается стандартом и нормами на алмазный инструмент.

Методом гальваностегии на корпус инструмента наносят слой никеля, содержащий зерна алмазного порошка. Алмазные зерна находятся в никелевом электролите во взвешенном состоянии, что обеспечивается постоянным перемешиванием раствора. При осаждении никеля алмазные зерна закрепляются на корпусе инструмента. Такие слои называют алмазогоальваническими и обозначают начальными буквами «АГ», применяют в инструментах малого размера, сложной конфигурации с небольшой толщиной слоев и высокой концентрацией алмаза.

Толщина алмазониكلевого слоя зависит от плотности тока ($0,5\text{--}10\text{ А/дм}^2$) и времени выдержки в электролите. Чем выше

зернистость алмаза, тем больше выдержка в электролите. Так, при зернистости 5/3 время выдержки составляет 9 мин, а при зернистости 125/100 около 5 ч.

Насечкой изготовляют алмазный инструмент, в котором зерна алмаза закатаны в насечки (пазы). На рабочей поверхности корпуса инструмента, изготовленного из меди или углеродистой стали, насекают зубилом или прорезают тонкой дисковой пилой пазы шириной 0,2—0,3 мм. В пазы втирают пасту, состоящую из алмазного порошка, медной крошки и вазелина. Закатывают пасту в пазы роликом. Такой инструмент применяют только в единичном и опытном производстве.

Инструмент с одиночным кристаллом алмаза применяют при ручной и станочной резке стекла, сверлении отверстий. Кристалл алмаза 1 закрепляют в гнездо 2 оправки 3 механически (рис. 10.2, а) или заливкой гнезда припосм (рис. 10.2, б).

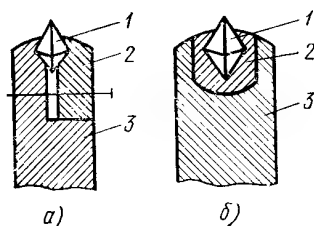


Рис. 10.2. Инструмент с одиночным алмазом

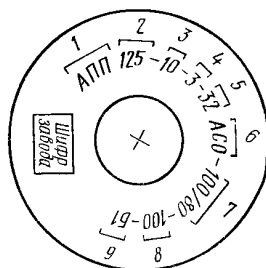


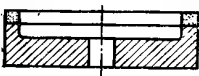
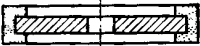
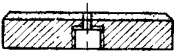
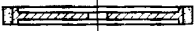
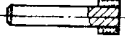
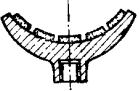
Рис. 10.3. Маркировка алмазных инструментов

Кристалл располагают так, чтобы режущий четырехгранный угол совпадал с направлением сил, действующих на алмаз при работе.

Типы алмазного инструмента. Промышленностью выпускается большая номенклатура алмазного инструмента (табл. 10.1) различного назначения, конфигурации, размеров и зернистости. На корпусе инструмента в местах, оговоренных чертежом, наносят знаки маркировки, характеризующие форму и основные размеры инструмента, марку алмаза и зернистость порошка, концентрацию алмаза, марку связки и т. д. Например, на алмазном шлифовальном круге, изображенном на рис. 10.3, цифрами обозначено: 1 — тип инструмента; 2 — наружный диаметр, мм; 3 — ширина алмазоносного слоя, мм; 4 — толщина алмазоносного слоя, мм; 5 — диаметр посадочного отверстия, мм; 6 — марка алмаза; 7 — зернистость алмазного порошка; 8 — концентрация алмазов; 9 — обозначение связки.

Выбор инструмента и режимов обработки (табл. 10.2). Выполняемая операция, размеры и форма заготовки, а также технические характеристики станка определяют применяемый алмазный инструмент и режимы обработки. По шероховатости и производи-

10.1. Некоторые типы алмазного инструмента

Название и обозначение	Профиль	Область применения
Алмазные круги плоские с выточкой АПВ		Шлифование плоских поверхностей
Алмазные круги прямого профиля трехсторонние А2ПП		Обработка цилиндрических и плоских поверхностей
Алмазные круги кольцевые АҚ		Обработка плоских и сферических поверхностей
Алмазные круги чашечные АЧҚ		Обработка плоских и сферических поверхностей
Алмазные круги плоские АП		Шлифование плоских поверхностей, фасетирование
Алмазные круги отрезные АОҚ		Распиливание стекла и хрупких материалов
Алмазные головки цилиндрические АГЦ		Шлифование внутренне цилиндрических поверхностей
Алмазный инструмент таблеточный		Тонкое шлифование сферических поверхностей способом притира

10.2. Рекомендации по выбору вида инструмента

Операция	Шеро- ватость	Вид инструмента	Марка алмаза	Зерни- стость алмаза	Марка, вид связи
Расшлифование, круглое шлифование, сверление, грубое шлифование поверхностей	$Rz = 80 \div 20$	Стандартные формы, сверла, кольцевые, специальные, круги с прерывистой поверхностью, специальные круги	АСВ, АСС, АСК, А	250/200 — —400/315, 160/125 — —200/160, 80/63 — —125/100	М1, МО4, МО7, МТ
Круглое шлифование, сверление, центрирование, среднее шлифование поверхностей, фасетирование	$Ra = 2,5 \div 1,2$	Стандартные формы, сверла, кольцевые, круги с прерывистой поверхностью, специальные круги	АСР, АСВ, А, АСМ, АМ	50/63 — —80/63, 40/28 — —63/50	М1, МО4, МО7, МТ, МЖ
Тонкое шлифование, фасетирование	$Ra = 0,6 \div 0,16$	Плоские и сферические притиры, сплошные и прерывистые, специальный кольцевой инструмент	АСМ, АМ, АСН, АН	20/14 — —28/20, 40/28 — —63/80	М10, МЖ, МЦА, органиче- ская
Тонкое шлифование поверхностей	$Ra = 0,08 \div 0,04$	Плоские и сферические притиры, сплошные и прерывистые, специальный кольцевой инструмент	АСМ, АМ, АСН, АН	20/14 — 40/28	Органическая, металлическая

тельности снятия припуска, достигаемых на данной операции, устанавливают марку или сорт алмаза, зернистость, концентрацию алмаза и вид связи. При использовании данных табл. 10.2 и выборе инструмента необходимо учитывать стандартные формы и размеры инструмента, уточнив данные о зернистости и концентрациях алмаза в инструменте для каждого конкретного случая обработки. Марки алмазов даны в порядке возрастания их эффективности, а марки связей — по степени применяемости. Технологические процессы тонкого шлифования поверхностей часто требуют уточнения состава алмазоносного слоя после проведения экспериментальных обработок.

Оптимальные условия обработки (табл. 10.3) характеризуются производительностью процесса и удельным расходом алмаза, а также правильным выбором состава и способа подачи СОЖ в зону обработки.

10.3. Усредненные данные по выбору режимов обработки

Операция	Окружающая скорость инструмента, м/с	Частота вращения заготовки, об/мин	Подача продольная, мм/мин	Глубина резания, мм	Производительность, см³/мин	Удельный расход алмаза, кар/дм³
Резание	20—30	—	50—150	—	25—50	0,2—1,0
Шлифование круглое	20—30	10—20	50—10	0,5—3,0	2—10	0,6—0,8
Шлифование круглое при центрировании	20—30	0,5—4,0	—	1,0—4,0	1—5	0,4—0,5
Сверление кольцевым сверлом	3,0—15	—	10—30	—	5—20	0,2—0,3
Шлифование грубое и среднее плоских и сферических поверхностей кольцевым кругом	15—30	4—500	4—20	—	4—50	0,2—0,3
Шлифование тонкое плоских и сферических поверхностей кольцевым кругом или притиром	20—40	300—500	0,3—0,5	—	0,4—0,8	1,0—1,5

10.2. Инструмент для шлифования свободным абразивом

Виды, материалы и подготовка инструмента. Обработку поверхностей оптических деталей свободным абразивом осуществляют металлическими инструментами-шлифовальниками с плоскими, выпуклыми и вогнутыми сферическими рабочими поверхностями. Инструмент (рис. 10.4) для обработки плоских поверхностей назы-

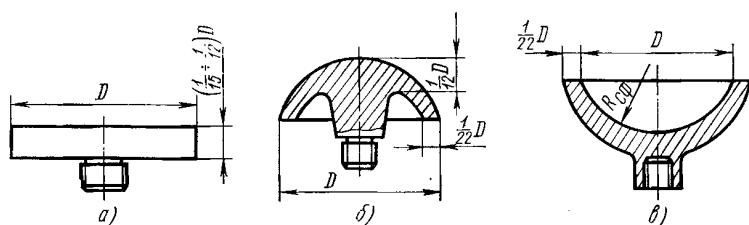


Рис. 10.4. Основные размеры шлифовальников

вают планшайбами (а), вогнутых сферических поверхностей — грибами (б), выпуклых сферических поверхностей — чашками (в). Инструмент соединяют со шпинделем станка с помощью нормализованных резьбовых хвостовиков, имеющих наружную и внутреннюю резьбу, или с помощью нормализованных конических хвостовиков. По назначению шлифовальный инструмент подразделяют на обдирочный, предназначенный для грубого шлифования поверхностей шлифпорошками, и шлифовальники, служащие для шлифования поверхностей микропорошками. В оптической технологии

существуют также контрольные или притирочные шлифовальные инструменты. Ими контролируют способом притирания радиус кривизны поверхностей после шлифования. Разновидностью шлифовальников, чашек и планшайб является также фасетировочный инструмент, предназначенный для нанесения фасок на детали.

Конструкция и материал инструмента должны обеспечивать высокую точность изготовления радиуса кривизны рабочей поверхности; минимальное биение инструмента; максимальную жесткость для обеспечения сохранности формы рабочей поверхности; устойчивость материала к абразивному износу; однородность состава, что исключает закрепление зерен абразива и появление царапин на обрабатываемой поверхности.

Основные материалы планшайб для грубого и тонкого шлифования — это отливки из чугуна СЧ 28—48 и латуни ЛС59-1Л. Чашки для грубого шлифования изготавливают из отливок чугуна СЧ 28—48, сталей 10 и 20, чашки для тонкого шлифования — из латуни ЛС59-1Л. Наиболее предпочтителен инструмент из чугуна. Он превосходит латунный инструмент по интенсивности шлифования в 1,2 раза, а по устойчивости к абразивному износу — в 1,8 раза. Недостатком чугунного инструмента является неоднородность состава отливок, наличие раковин, что может повлечь закрепление зерен абразива на рабочей поверхности и царапание обрабатываемой поверхности. Инструменты всех типов диаметром до 30—40 мм изготавливают из прокатанных стальных прутков.

Для тонкого шлифования кристаллов из германия, кремния и некоторых других используют планшайбы из стекла ЛК5, К8. В этом случае хвостовики из металла наклеивают на стеклянные планшайбы с помощью наклеечных смол. Контрольные или притирочные инструменты изготавливают из латуни.

Для лучшего распределения абразивной суспензии на поверхности инструментов больших размеров делают кольцевые или радиально-кольцевые канавки, что, однако, усложняет промывку инструмента и удаление абразива после обработки.

Заданную форму рабочей поверхности и хвостовик изготавливают механической обработкой. Форму сферической рабочей поверхности контролируют металлическим радиусным шаблоном. Плоские поверхности проверяют наложением плоской стеклянной линейки.

Перед использованием рабочие поверхности подготавливают к работе расшлифовкой свободным абразивом. Расшлифовку осуществляют по вспомогательной заготовке или блоку заготовок, используя абразив перехода, к которому подготавливают инструмент. Заданный радиус поверхности достигается в результате взаимного износа. Контролируют радиус после легкого полирования поверхности заготовки наложением пробного стекла. Для каждого перехода изготавливают шлифовальник со своим радиусом рабочей поверхности.

Расчет шлифовальников. Наиболее эффективной обработкой считают последовательный съем припуска в несколько переходов, когда наибольшую толщину снимают более крупным абразивом с

последующим изменением как снимаемой толщины стекла, так и зернистости порошка абразива. Шлифование заканчивают по достижении на поверхности минимальной глубины однородного матированного слоя и при отсутствии видимых дефектов чистоты поверхности. Число переходов и зернистость абразивов на переходах шлифования определяют в зависимости от марки стекла и размеров заготовки, общего припуска на обработку и требований к качеству поверхности.

Обработка каждым абразивом уменьшает радиус кривизны заготовки, который определяет радиус шлифовальника с учетом поправок на зернистость абразива. Исходными данными для расчета шлифовальника служат R_0 — радиус кривизны поверхности готовой детали, M_n — глубина разрушенного слоя, где n — номер абразивного порошка данного перехода, марка стекла детали, взаимное положение заготовки и шлифовальника.

Расчет шлифовальников ведут по такой методике. Радиус кривизны заготовки, полученный после шлифования любым абразивным порошком, определяют по формуле $R_{\text{пер}}^{\text{зар}} = R_0 \pm 1,2 KM_n$, где 1,2 — коэффициент, учитывающий увеличение слоя M_n за счет неоднородности зернового состава порошков; K — коэффициент, учитывающий твердость по сошлифовыванию стекла. Знак «+» берут для выпуклых, знак «—» — для вогнутых заготовок.

Радиус кривизны шлифовальника вычисляют по формуле $R_{\text{пер}}^{\text{ш}} = R_{\text{пер}}^{\text{зар}} \pm A_n$ или $R_{\text{пер}}^{\text{ш}} = R_0 \pm (1,2 KM_n + A_n)$, где A_n — толщина слоя абразивной суспензии с номером n абразивного порошка.

Пример расчета. Рассчитать размеры шлифовальника, исходя из условий обработки микропорошком М28 (табл. 10.4) выпуклой поверхности с $R_0 = 50$ мм детали из стекла БК10 (табл. 10.5), шлифовальник расположен сверху. Подставляя исходные и табличные данные в формулу, получаем, что $R_{\text{М}10}^{\text{ш}} = 50 + (1,2 \cdot 1,16 \cdot 0,022 + 0,029) = 50,051$ мм.

Стрелка рабочей поверхности шлифовальника $h_{\text{М}10}^{\text{ш}} = R_{\text{М}10}^{\text{ш}} \approx 100$ мм.

При обработке плоских поверхностей переходы для инструмента не нужны.

Рассчитанные размеры шлифовальников всегда проверяются по результатам пробных обработок, на которых обнаруживается влияние технологических факторов.

10.4. Значения глубины разрушенного слоя и толщины абразивной суспензии

Номер и марка абразивного порошка	Глубина M_n разрушенного слоя стекла, мм	Толщина A_n слоя абразивной суспензии, мм		Номер и марка абразивного порошка	Глубина M_n разрушенного слоя стекла, мм	Толщина A_n слоя абразивной суспензии, мм	
		шлифовальник снизу	шлифовальник сверху			шлифовальник снизу	шлифовальник сверху
10	0,122	0,140	0,204	М20	0,015	0,020	0,027
6	0,062	0,080	0,101	М14	0,010	0,013	0,019
4	0,043	0,057	0,071	М10	0,007	0,008	0,014
3	0,035	0,047	0,059	М7	0,005	0,005	0,011
М28	0,022	0,029	0,038				

10.5. Значения коэффициента твердости по сошлифовыванию стекла

Марка стекла	K	Марка стекла	K
K8	1,00	ЛФ5	1,28
БК8	1,04	Ф1	1,28
БК10	1,16	ТФ1	1,40
ТК2	1,20	ТФ3	1,68

10.3. Инструмент для полирования

Виды и материалы инструмента. Основой инструмента для полирования служит металлический корпус в виде планшайбы, гриба или чашки. Обрабатывающую поверхность инструмента образует слой материала, несущий в процессе работы полирующий абразив.

Корпус инструмента изготавливают из чугуна или алюминиевых сплавов литьем с последующей токарной обработкой хвостовика под крепление инструмента. Токарной обработке подвергают также поверхность под крепление рабочего материала полировальника. Наиболее предпочтителен алюминиевый сплав, особенно при изготовлении полировальников больших размеров.

Рабочим материалом полировальника служат полировочная смола, техническая ткань или синтетические вещества, например полиуретан. Вид материала выбирают в зависимости от требований к точности и чистоте обрабатываемой поверхности. При этом учитывают режимы обработки.

Расплавленную полировочную смолу наносят на нагретую поверхность корпуса инструмента. Рабочую поверхность инструмента формируют блоком с наклеенными обрабатываемыми деталями. После охлаждения смола прочно удерживается на корпусе.

Достоинствами такого полировальника являются свойства смолы, вязкость и пластическая деформация, позволяющие в процессе работы сохранять и плавно изменять кривизну своей поверхности в зависимости от сохранения или изменения кривизны обрабатываемой поверхности. Смоляные полировальники используют для изготовления поверхностей деталей с повышенными требованиями к форме, погрешности обработки таких поверхностей $N < 10$ и $\Delta N < 1$.

Техническую ткань, сукно, войлок, фетр или другие ворсистые материалы наклеивают на поверхность корпуса с помощью смол. Синтетические вещества приклеивают специальными клеями.

Такой инструмент используют для изготовления оптических поверхностей с невысокими требованиями к точности формы, допустимые погрешности обработки таких поверхностей $N > 10$ и $\Delta N < 2$. Однако этот инструмент обеспечивает минимальное число дефектов чистоты и интенсивные режимы обработки.

Выбор размеров и подготовка полировальника. Размеры диаметра плоских и высоты неплоских полировальников выбирают,

руководствуясь соотношениями по выбору инструмента для шлифования.

Радиус кривизны поверхности корпуса инструмента для полирования отличается от радиуса кривизны обрабатываемых оптических деталей на величину толщины полировочной смолы, сукна или синтетического вещества $R_{\text{п}} = R_{\text{к}} \pm b$, где b — толщина слоя смолы; знак «+» относится к вогнутым, знак «—» — к выпуклым полировальникам.

Допуск на радиус кривизны поверхности корпуса инструмента, предназначенного для смоляного полировальника, достаточно широк: от нескольких десятых до единиц миллиметров в зависимости от радиуса. Требуемый радиус кривизны обрабатываемой поверхности обеспечивают за счет нанесения неравномерного слоя смолы. Это позволяет подбирать корпуса инструмента из имеющихся в наличии.

В процессе полирования смоляной полировальник притирается к обрабатываемой поверхности оптической детали и принимает ее радиус кривизны. Поэтому радиус рабочей поверхности полировальника не рассчитывают. Толщина слоя смолы b зависит от размеров радиуса R_0 обрабатываемой поверхности, рекомендуемые значения приведены ниже:

R_0 , мм	b , мм
5—10	0,8—1,5
10—40	1,5—2,0
40—80	2,0—2,2
80—180	2,5—3,0
свыше 180	3,0—5,0
плоские	5,0—15,0

Радиус сферы на корпусе смоляного полировальника выбирают так, чтобы слой смолы в центре был на $\sim 25\%$ толще, чем в крайних зонах. Такое расположение смолы позволяет осуществлять подрезку инструмента в процессе обработки и учитывать растекание смолы. Практикой установлено, что к концу работы такой полировальник будет иметь приблизительно одинаковую толщину смолы в центре и на краях, что способствует успешному ведению обработки.

Обрабатываемую поверхность полировальника из смолы, ткани, синтетических веществ подготавливают к работе, т. е. производят располировку. Для располировки инструмент разогревают в горячей воде. Обрабатываемую поверхность вспомогательного блока деталей смазывают густой суспензией полирующего абразива и под большим давлением притирают инструмент. В результате обрабатываемая поверхность инструмента принимает форму этого блока деталей. Перед и в процессе обработки оптических деталей поверхность полировальника подрезают, улучшая условия распределения полирующей суспензии и регулируя радиус кривизны. Поверхности полировальников с техническими тканями очищают радиусными или плоскими ножами от образующейся твердой корки продуктов обработки.

1. Какие разновидности алмазного инструмента применяют в оптическом производстве?
2. Расскажите об изготовлении алмазного инструмента.
3. Что представляет собой инструмент для шлифования свободным абразивом и полирования?

11. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Вспомогательными называют технологические операции, способствующие проведению основных для достижения заданной формы и требуемых размеров оптических деталей. К вспомогательным операциям относят все виды крепления деталей, блокирование наклеиванием или другое крепление деталей на блоке для дальнейшей совместной обработки, разблокирование, склеивание деталей в столбик, расклеивание, промывку и др. Вспомогательные операции занимают более 30% общей трудоемкости производства оптических деталей.

11.1. Крепление заготовок наклеиванием

Способ крепления заготовок наклеиванием или склеиванием наиболее широко используют как на этапе заготовительных операций, так и при операциях изготовления оптических деталей. Склеенные заготовки должны сохранять свое неизменное положение на блоке или по отношению друг к другу на протяжении всего процесса обработки данной поверхности.

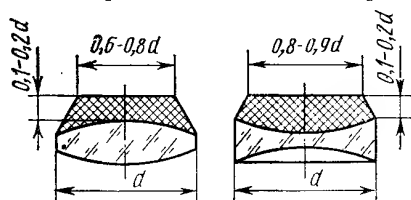


Рис. 11.1. Вид смоляных подушек для линз

Эластичное крепление. Такое соединение выполняют приклеиванием заготовок с помощью наклеечных составов, слой которого значительной толщины наносят на соответствующее приспособление: планшайбу, чашку или гриб. Эластичное крепление используют для соединения предва-

рительно обработанных заготовок с припуском порядка 0,1 мм.

Толщина слоя смолы составляет 0,1—0,2 диаметра, но не менее 1 мм для линз малого диаметра. Для выпуклых поверхностей толщину слоя отсчитывают по оси, а для вогнутых — по краю деталей.

Заготовки наклеивают посредством смоляных подушек (рис. 11.1), изготовляемых на приклеиваемой поверхности, когда диаметр смоляной подушки равен диаметру заготовки, а сама подушка имеет вид усеченного конуса для удобства блокирования.

Придание смоляным подушкам требуемой формы и заданных размеров, а также их приклеивание к поверхности заготовки осуществляют как вручную, так и с помощью автоматизированных устройств и полуавтоматов. В мелкосерийном и опытно-

стве часто используют ручной способ (рис. 11.2). Размягченную нагретую смолу 2 помещают в формовочное устройство 3, накладывают сверху подогретую до $70-80^{\circ}\text{C}$ заготовку 1 и таким образом приклеивают ее. Заготовки большого диаметра приклеивают кольцевыми (рис. 11.3, а) или точечными (рис. 11.3, б) подушками, что уменьшает расход и деформирующее действие смолы. Заготовки малой кривизны и незначительного диаметра закрепляют на приспособлениях заливкой (рис. 11.4). Заготовки 3 притирают к поверхности установочного инструмента 5, располагая их соответственно расчету. Зазоры между заготовками размером от 1 до 5 мм в зависимости от формы засыпают древесными опилками 4 на толщину не более толщины края заготовок. Затем поверхность установочного инструмента с заготовками заливают расплавленной смолой 2. Смола заполняет чашку установочного инструмента, прогревает линзы и склеивается с ними, после чего сверху опускают разогретое наклеенное при-

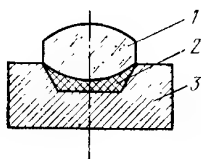


Рис. 11.2. Ручное формование смоляных подушек

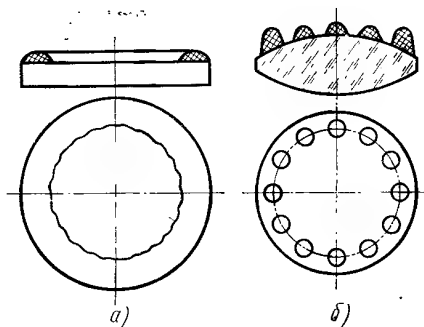


Рис. 11.3. Кольцевая и точечные смоляные подушки

способление (гриб) 1, располагая его с помощью фиксаторов так, чтобы оси установочного инструмента и наклеенного приспособления совпали и выдерживалась требуемая толщина смолы. Блок охлаждают. Отделяют установочный инструмент и зачищают поверхности и зазоры между заготовками.

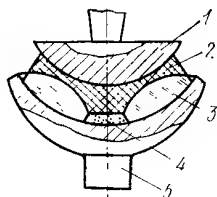


Рис. 11.4. Эластичное крепление деталей заливкой смолы

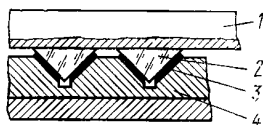


Рис. 11.5. Эластичное крепление призм

Наклеенные приспособления для заготовок линз имеют поверхность с радиусом кривизны, близким к радиусу кривизны поверхности заготовок. Допустимое отклонение радиуса кривизны поверх-

ности приспособления составляет от 1—2% радиуса кривизны заготовок небольших радиусов до 10% для больших радиусов кривизны. Это позволяет широко использовать имеющиеся в наличии наклеечные приспособления.

Заготовки линз с плоскими и сферическими поверхностями, близкими к плоским, допускается крепить на плоские поверхности планшайб с помощью просмоленных суконных прокладок.

Эластичное крепление заготовок применяют при обработке как линз, так и пластин и призм. Эластичное крепление широко используют для обработки заготовок пластин, имеющих отклонения толщин до 0,5 мм. Нагретую наклеечную планшайбу посыпают размельченной в порошок смолой. Расплавленную после соприкосновения с нагретой поверхностью планшайбы смолу накрывают марлей и сверху опять посыпают порошком смолы так, чтобы общая толщина клеящего слоя составляла 1—1,5 мм. Пластины притирают к поверхности установочной планшайбы и накрывают сверху наклеечной планшайбой. После охлаждения блока до комнатной температуры сдвигают установочную планшайбу и зачищают поверхности и зазоры между пластинами.

Пластины малых размеров крепят сплошными смоляными подушками. Пластины больших размеров соединяют точечными или кольцевыми подушками.

Для эластичного крепления призм 2 (рис. 11.5) используют планшайбы 4 с канавками, соответствующими профилю наклеиваемой поверхности призм. Слои смолы 3 имеют толщину от 1 мм для небольших до 5 мм для больших призм. Смолу сплошным слоем, точками или полосами наносят на поверхность посадочных канавок подогретой установочной планшайбы. Призмы притирают к размеченной поверхности установочной планшайбы, располагая соответственно разметке. Установочную планшайбу с призмами накрывают наклеечной планшайбой 1, обеспечивая заданное расположение призм в канавках и равномерную толщину смоляного слоя.

Заготовки деталей блокируют непосредственно перед обработкой поверхности, так как при изменении внешних условий и от времени наклеечная смола может деформироваться. Это приводит к дефектам, обнаружить которые можно лишь после обработки поверхности и разблокирования.

Для получения качественных поверхностей заготовок важное значение имеют свойства наклеечной смолы, зависящие от качества и природы исходных материалов, их соотношения и технологии приготовления. Для эластичного крепления заготовок линз диаметром более 20 мм рекомендуется применять смолу СН-10, для заготовок линз диаметром менее 20 мм — СН-11. Смолу СН-12 используют для наклеивания заготовок линз любых размеров. Смолы СН-11 и СН-12 наиболее широко применяют при изготовлении оптических деталей. Крепление пластин осуществляют наклеечными смолами СН-3, СН-4 и полировочными смолами СП-5, СП-6, СП-7. Для наклеивания тонких и пластин повышенной точности приме-

няют комбинированные смоляные подушки. Пластина непосредственно контактирует с более твердой смолой, например, СН-3 или СП-6, а далее следует слой более мягкой смолы, например, СП-5. Призмы наклеивают на приспособления смолы СН-5.

Применение полировочных смол объясняется тем, что иногда при наклеивании деталей не удается получить необходимую точность изготовления поверхности («цвет»). Несмотря на приведенные выше рекомендации, выбор и состав наклеечных смол до настоящего времени выполняют интуитивно на основе личного опыта рабочего.

К дефектам изготовления поверхностей заготовок могут привести и другие причины, например неправильная форма смоляных подушек, избыток смолы или большая толщина смоляного слоя, перегрев смолы. Эти причины дефектов сводят к минимуму применение наклеечных автоматизированных устройств, например наклеечной машины НП-2. Причинами дефектов часто являются дефекты блокирования; плохая притирка заготовок, неправильное их расположение, смещение наклеечного приспособления; плохая чистка поверхностей и некачественная заливка зазора смолой.

Блокирование начинают с притирки заготовок к смазанной маслом (линз) или парафином (пластин и призм) поверхности установочного инструмента или приспособления. Притирают заготовки аккуратно, выжимая масло или парафин из-под заготовок и обеспечивая минимальный и равномерный по толщине слой.

Большое значение имеет форма поверхности установочного инструмента, особенно при изготовлении пластин и призм. Поверхность планшайбы должна иметь ту же точность, что и поверхности пластин и призм. Менее жесткие требования к установочному инструменту при изготовлении линз.

После наклеивания с поверхностей заготовок удаляют остатки масла или парафина, соскабливая ножом, или растворяют ацетоном остатки или затеки смолы, зачищают зазоры между заготовками.

Время хранения блока должно быть минимальным, так как это часто служит причиной дефектов из-за деформации смолы, смещения или выкалывания краев заготовок.

После обработки поверхностей заготовки снимают с блока, проводят так называемую операцию разблокирования. В серийном производстве используют разблокирование охлаждением. Блок помещают в холодильную камеру. При охлаждении за счет разности коэффициентов термического расширения материалов смолы и заготовок происходит отделение последних от смолы. Иногда для ускорения разблокирования после отделения основной массы заготовок оставшиеся скалывают легким ударом деревянного молотка. Снятые детали имеют достаточно чистые без остатков смолы поверхности. Применяют также ультразвуковые и механические способы разблокирования.

Достоинством способа эластичного блокирования заготовок является возможность получения высококачественных поверхно-

стей. Недостаток способа вызван использованием достаточно большого слоя смолы, что не позволяет применять интенсивные режимы обработки под давлением, хранить блоки. Способ наклеивания трудоемок, его не применяют на операциях грубой обработки поверхностей.

Жесткое крепление. Заготовки 1 (рис. 11.6, а) в данном случае

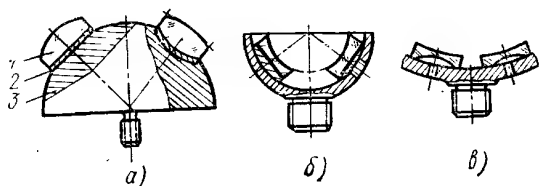


Рис. 11.6. Оснастка жесткого блокирования линз

закрепляют на наклеечном приспособлении 3 с помощью тонкого слоя смолы 2 или просмоленной материи. При жестком способе блокировки используют смолы СН-6, СП-4, СП-5, СП-6, СП-7. Материалами прокладок служат марля, батист. Полированные поверхности сажают также на просмоленную папиросную бумагу. При наклеивании используют смоляные слои толщиной 0,1—0,05 мм. В соответствии с этим к форме поверхности наклеечного приспособления предъявляют жесткие требования.

При блокировании линз используют наклеечные приспособления со специально подготовленными посадочными местами, расположение которых определяется расчетом, а форма и размеры зависят от формы поверхностей заготовок оптических деталей. Посадочные места (см. рис. 11.6) для заготовок линз делают в виде лунок (а) на поверхности или шайб (б), закрепленных на приспособлении. Наклеечное приспособление для крепления заготовок линз вогнутыми или плоскими поверхностями может и не иметь специальных посадочных мест. Крепление осуществляют посредством приклеивания кольцевым слоем смолы по краям заготовок (рис. 11.6, в). Радиус кривизны поверхности лунки или шайбы должен быть таким, чтобы зазор между поверхностями заготовки и лунки (или шайбы) в центре составлял 0,1—0,2 мм. Заготовки больших размеров приклеивают к посадочным местам, имеющим дополнительное цилиндрическое углубление в центре диаметром до половины диаметра заготовки. Глубину лунок или толщину шайб выдерживают с точностью до 0,01—0,05 мм, что обеспечивает получение линз одинаковой толщины.

Блокирование начинают с нагрева наклеечных приспособлений до температур, несколько больших температуры плавления смолы. На посадочные места приспособлений наносят тонкий слой смолы или просмоленную материю. Заготовки линз, нагретые до температуры плавления смолы, накладывают на смоляной слой и прижимают к приспособлению деревянной рукояткой с пробковым наконечником. Выдавливают излишек смолы, обеспечивая равномерный

слой толщиной 0,01—0,05 мм и располагая заготовки центрично с посадочным местом наклеечного приспособления. В серийном производстве используют специальные прессы для наклейки заготовок линз. Это обеспечивает получение более равномерного и минимального по толщине слоя смолы. Наклеечный блок находится в прессе до полного затвердевания смолы.

На каждый блок наклеивают заготовки одинаковой толщины, что вызывает необходимость их подборки и специальной комплектации блоков заготовками.

При комплектации заготовок пластин в один блок выполняют тщательный подбор их по толщине. Заготовки пластин притирают к наклеечной планшайбе и через фетровую или суконную прокладку нагружают ее дополнительным грузом. После охлаждения до комнатной температуры избыток смолы удаляют, а поверхности промывают растворителем. Для обработки второй стороны заготовки пластин наклеивают с помощью просмоленной марли или папиросной бумаги.

При жестком способе блокирования призм используют наклеечное приспособление с точно ориентированными канавками заданной глубины. От точности изготовления канавок зависят угловые и линейные размеры призм. Шлифованные поверхности заготовок сажают в канавки на тонкий слой смолы, а полированные — на просмоленные прокладки материи или папиросной бумаги. Наклеивают такие призмы так же, как и пластины.

Разблокирование осуществляют нагревом блока до температур размягчения смолы. Часть смолы при этом остается на поверхности заготовок, часть на наклеечном приспособлении. Остатки смолы смывают, а иногда удаляют механически, сбивая с приспособлений деревянным молотком или ножом. Такой способ чистки приспособлений не исключает повреждения поверхностей посадочных мест. Используют и механическое разблокирование. Заготовки отделяют ударами деревянного молотка по текстолитовому клину, вставленному в пазы между заготовкой и приспособлением.

Достоинством способа жесткого блокирования заготовок является возможность использования интенсивных режимов обработки на всех операциях от грубой обработки алмазным инструментом до полирования поверхностей. Наклеенные на блоки заготовки не смещаются и не деформируются в процессе хранения. Процесс наклеивания линз можно механизировать.

К недостаткам жесткого способа блокирования относят сложность и дороговизну наклеечных приспособлений. Применение таких приспособлений экономически оправдано только при крупносерийном и массовом производстве деталей. Такой способ крепления не обеспечивает изготовление деталей с погрешностью $N \leq 3$ и допуском на толщину порядка 0,03—0,05 мм, а также крутых поверхностей линз.

Склеивание столбиков. Перед операцией кругления заготовок линз, пластин или совместной обработки плоскостей призм производят склеивание их в столбики. Соединение призм таким способом

используют реже, так как существуют более производительные и точные способы крепления. Для склеивания заготовок линз и пластин используют смолы СН-1, СН-2, воск, парафин. Призмы склеивают смолой СН-8, шеллаком.

Размер столбика заготовок для кругления до 150 мм. Длина столбика не должна превышать десятикратный диаметр заготовок. Эти ограничения вызваны используемыми режимами кругления. Более длинные столбики разрушаются при обработке.

Промытые и высушенные заготовки нагревают до температур, несколько больших температуры плавления используемых смол. Смола на заготовку наносят, проводя по ее поверхности куском смолы. Оплавляясь от соприкосновения с горячей поверхностью, смола в виде тонкого слоя остается на заготовках.

Заготовки собирают в столбик (рис. 11.7), обеспечивая перпендикулярность оси будущего цилиндра его торцам. Это достигают с помощью различных приспособлений: специальных рамок, угловых устройств, призм, прессов, в которых заготовки остывают до комнатной температуры. Расклеивание выполняют нагреванием столбиков заготовок.

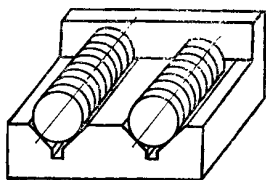


Рис. 11.7. Приспособление для склейки столбиков

11.2. Другие виды крепления

Механическое крепление. Этот способ применяют для единичного и группового крепления призм на операциях грубой обработки плоскостей, изготовления пазов, лысок, скосов и т. д. Заготовки 1 деталей размещают в посадочных местах приспособления и закрепляют прижимным устройством 2 (рис. 11.8). Погрешность

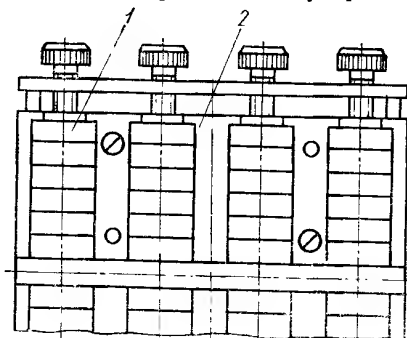


Рис. 11.8. Механическое крепление призм

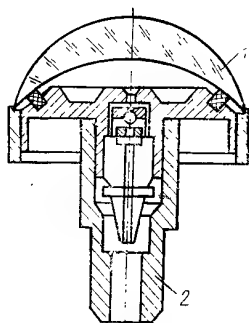


Рис. 11.9. Вакуумное крепление линз

изготовления зависит от точности посадочных мест и равна примерно 5—8' для углов призм и клиньев, пирамидальность 0,05—0,1 мм. Этот способ крепления наиболее широко применяют

при шлифовании заготовок призм алмазным инструментом на вертикально-фрезерных и плоскошлифовальных станках типа ЗБ-756.

Вакуумное крепление (рис. 11.9). Созданием разреженного пространства в объеме приспособления 2, ограниченного одной из поверхностей заготовки 1, выполняют ее закрепление на операциях шлифования, полирования, нанесения покрытий. Пониженное давление создают вакуумными насосами и диафрагменными устройствами. При этом способе крепление и раскрепление заготовок осуществляется мгновенно, что увеличивает производительность и сокращает время вспомогательных работ; упрощается и ускоряется процесс промывки деталей.

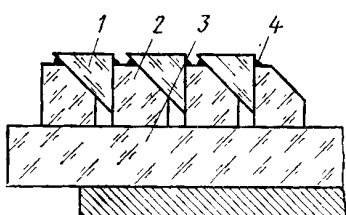


Рис. 11.10. Крепление призм оптическим контактом

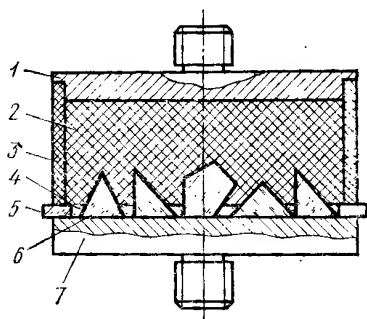


Рис. 11.11. Крепление призм гипсом

Крепление оптическим контактом. Этот способ (см. рис. 11.10) используют при высокоточной обработке призм и пластин. Способ обеспечивает получение углов с погрешностью до $1-5''$ и плоскостей с $N=0,1$. Две поверхности тщательно полированные, промытые и обеспыленные входят в оптический контакт при соприкосновении, надежно удерживая детали. Силы молекулярного сцепления поверхностей превосходят усилия, действующие при обработке. Для посадки на оптический контакт поверхности заготовок полируют с погрешностью до $N=1$; поверхность контактного приспособления обработана с $N \leq 1$. Царапины и выколки на поверхности не допустимы.

Заготовки сажают на приспособление (пластину) в обеспыленных помещениях. Тщательно чистят контактируемые поверхности заготовок и приспособления спиртом, смахивают пыль обезжиренной беличьей или колонковой кистью. Осторожно накладывают заготовку на приспособление. При этом в зоне контакта появляется равномерная интерференционная картина. Заготовки входят в контакт с поверхностью приспособления после нажима на них деревянной палочкой и удаления из зоны соприкосновения воздуха. Исчезновение интерференционной картины указывает на то, что заготовки вступили в контакт. Заготовки по периметру и сво-

бодную поверхность контактной пластины покрывают защитным лаком, что герметизирует место стыковки.

При обработке заготовок призм их сажают на дополнительную контактную призму, которая совместно с обрабатываемой заготовкой образует прямоугольник. Эта вспомогательная призма так называемый контактный кубик размерами и точностью изготовления углов соответствует размерам заготовки. Контактные кубики 2 (рис. 11.10) с посаженными на них заготовками призм 1 устанавливают на контактную пластину 3 и защищают места соединения лаком 4. После обработки смывают защитный лак и детали отделяют от контактной пластины. Снятие оптических деталей с контакта производят нагревом заготовки с одной стороны. Смачивание мест контакта эфиром также способствует разблокированию.

Крепление твердеющим раствором. Этот способ используют для закрепления заготовок предварительно шлифованных призм заливкой раствором гипса. Затвердевший гипс прочно удерживает заготовки призм. Способ применяют при обработке шлифованием и полированием углов призм с погрешностью от $5'$ и плоскостей до $N \geq 1$.

На поверхность установочной планшайбы 7 наносят слой масла или вазелина (рис. 11.11). Подготовленные к блокированию заготовки 6 притирают к поверхности установочной планшайбы. Заготовки притирают поверхностью, предназначенной для обработки. Поверхность установочной планшайбы максимально заполняют заготовками. По краю планшайбы через 120° притирают три стеклянные пластины 5 толщиной 2—4 мм для ограничения высоты крепящего обода и подъема заготовок над ободом.

На стеклянные пластины устанавливают обод 3, а промежутки между заготовками засыпают мелкими древесными опилками 4. Весь объем, ограниченный ободом и установочной планшайбой с заготовками, заливают гипсовым раствором 2. Сверху обод с раствором гипса закрывают крышкой 1 с хвостовиком для крепления приспособления на шпинделе станка. Отвердевание гипса происходит за 5—8 ч. После этого приспособление переворачивают, снимают установочную планшайбу, щеткой удаляют опилки. Поверхность гипса между заготовками покрывают слоем расплавленного воска, что препятствует выкрашиванию гипса при обработке. После шлифования и полирования обработанные поверхности покрывают лаком, а приспособление разбирают. Снимают обод, разбивают гипс деревянным молотком и извлекают заготовки деталей.

Достоинствами способа являются простота процесса, универсальность приспособлений, возможность блокирования заготовок различной формы и конфигурации.

К недостаткам относят невысокую точность изготовления углов призм, длительность блокирования, загрязненность участка блокирования и разблокировки отходами гипса. Невысокая точность изготовления углов призм вызвана деформацией блока при

затвердевании гипса, который, расширяясь, деформирует обрабатываемую поверхность и разворачивает заготовки призм.

Наклеивание заготовок на патрон станка. Этот способ крепления используют для поштучной обработки заготовок на центрировочных операциях. Прижатая к нагретому патрону станка смола оплавляется и приклеивается к его поверхности. Подогретую центрируемую заготовку устанавливают на патрон, прижимая и приклеивая ее по всей поверхности или по внешнему периметру пояса касания. Остывшая смола прочно удерживает заготовку. После центрирования и кругления заготовку снимают с патрона, предварительно подогрев смолу. Для удаления остатков смолы заготовки промывают. Для наклеивания заготовок, подлежащих центрированию, используют наклеечную смолу СН-4 и некоторые другие смолы, составленные на основе пека, шеллака, канифоли, битума и масла веретенного.

К достоинствам способа относят простоту и надежность крепления, позволяющего при правильном выборе смол и режимов обработки достигать высокой производительности труда. При креплении заготовок практически исключается повреждение поверхностей.

К недостаткам можно отнести применение в некоторых случаях открытого пламени газовой горелки для нагрева патрона и смолы, а также удаление остатков смолы промывкой.

11.3. Лакирование и промывка деталей

Лакирование. Процесс лакирования заключается в нанесении лака на поверхности заготовок оптических деталей, чтобы предохранить их полированные поверхности от повреждения при дальнейшей механической обработке других поверхностей. Для этих целей используют нитроэмали и нитролаки, прочно удерживающиеся на поверхности, хорошо предохраняющие поверхности от механического и химического воздействия, не образующие налетов, легко смываемые после обработки.

На тщательно промытые и протертые поверхности заготовок оптических деталей кистью наносят лак. Лак покрывают равномерным слоем небольшой толщины. Не допускаются затеки, пузыри, а также попадание лака на шлифованные поверхности.

Промывка. Процесс промывки заключается в очистке заготовок деталей от смолы, лака и других загрязнений, вызванных процессом обработки, например, на операциях шлифования, полирования, центрирования и т. п. Промывочные жидкости должны обладать хорошими растворяющими свойствами. Выбор растворителя определяется составом загрязняющего вещества.

Промывку осуществляют последовательно в три приема. Первоначально смывают смолу, затем лак с последующим ополаскиванием деталей и протиркой их поверхностей. Широко используемые однокомпонентные растворители бензин, ацетон, спирт и их смеси хорошо растворяют и удаляют большинство загрязнений.

В серийном производстве оптических деталей используют груп-

повую промывку в ваннах. Заготовки укладывают на дно ванны на слой ваты. Ванну заливают растворителем и закрывают крышкой для уменьшения его испарений. Время нахождения заготовок в ванне зависит от природы и марки стекла, а также степени загрязнения. Время промывки в ванне от единиц минут до часа.

Протерев обработанные поверхности ватным тампоном и ополоснув их, укладывают заготовки в растворитель лака. Время нахождения в растворителе определяется так же. Протерев тампоном и ополоснув обработанные поверхности, заготовки промывают в третьей ванне, а затем протирают салфеткой.

Используемые для протирки салфетки тщательно стирают и обезжиривают. Недостаточно тщательно стиранные и обезжиренные салфетки портят, царапают поверхности деталей и наносят налеты. Протирать необходимо еще влажные от промывки детали.

Для промывки деталей используют также ультразвуковые промывочные ванны. Существуют и применяют ультразвуковые промывочные машины, работающие в полуавтоматическом режиме, когда кассеты с деталями последовательно перемещаются из одной ванны в другую, число ванн достигает 5—6.

Контрольные вопросы

1. Какие виды операций относят к вспомогательным?
2. Как выполняют блокирование эластичным способом крепления и жестким?
3. Что такое оптический контакт?
4. Укажите применимость, достоинства и недостатки крепления заготовок гипсом.
5. Как осуществляют разблокирование приспособлений?
6. Перечислите характерные дефекты промывки и протирки. Укажите меры их предупреждения.

12. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

12.1. Разделительные операции

К разделительным относят операции, предназначенные для разделения листов и кусков стекла на более мелкие, приближающиеся по своим размерам к размерам детали.

К разделительным операциям относят разрезание, раскалывание и распиливание. Выбор способа разделки стекла зависит от конфигурации и размеров исходной заготовки и заданной точности ее размеров.

Разрезание стекла. Эту операцию производят алмазным резцом, роликом, резцом с твердосплавной пластинкой для заготовок, имеющих плоскую полированную или шлифованную поверхность. Разрезание стекла заключается в нанесении на его поверхность царапины или трещины с последующим разделением (раскалыванием) стекла по этой границе. Погрешность разрезания зависит от толщины заготовки и равна 0,3—2 мм. Алмазным резцом или стеклорезом разрезают только полированные листы толщиной до 8 мм.

Перед разрезанием стекло кладут на подстилку из войлока 1 и размечают его поверхность восковым карандашом (рис. 12.1, а). При резании резец 3 держат перпендикулярно поверхности листа 2. Алмазным резцом проводят царапину в одном направлении только один раз, при этом царапины от резца не должны пересекаться.

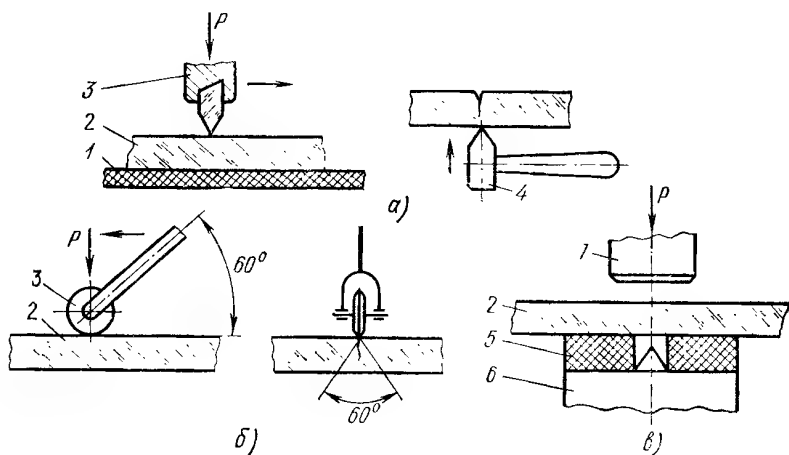


Рис. 12.1. Способы разделения листового стекла

каться. После нанесения царапин и образования трещин лист стекла раскалывают, нанося с противоположной стороны надреза легкие удары молотком 4. Для раскалывания листов стекла толщиной до 4 мм молоток не применяют.

Ролик-стеклорез применяют при разрезании шлифованных и полированных листов 2 толщиной до 10 мм (рис. 12.1, б). Ролик 3 изготовляют из твердого сплава ВК8. Его рабочие поверхности пересекаются под углом 60°.

Для разрезания листов стекла толщиной до 15—20 мм используют резцы с твердосплавной пластинкой. Резцом по одной линии проводят несколько раз и наносят глубокую царапину. Надрезанное стекло раскалывают с помощью молотка или пресса.

Раскалывание стекла. Для разделения плоских кусков стекла толщиной 60—100 мм с погрешностью до $\pm 2,5$ мм применяют пресс. Стекло 2 укладывают плоской поверхностью через резиновую прокладку 5 на острие трехгранной призмы 6 и давят на него сверху пуансоном 7 (рис. 12.1, в). Для колки стекла используют гидравлические или ручные винтовые прессы.

Для разделения круглых длинных заготовок используют накалившую электроспираль, прижимаемую к намеченной заранее линии раздела. Заготовку медленно поворачивают так, чтобы электроспираль все время соприкасалась с поверхностью по одной и той же линии. После разогрева место соприкосновения со спиралью смачивают холодной водой. В заготовке образуется трещина, по которой стекло разделяют.

Распиливание стекла. Разделку кусков толщиной до 500 мм любой конфигурации проводят алмазными отрезными кругами типа АОК и кругами с внутренней режущей кромкой типа АКВР. Погрешность распиливания $\pm 0,3\text{--}1,0$ мм. Реже применяют абразивные отрезные круги зернистостью от № 46 до № 100. Охлаждающей жидкостью является вода, 3%-ный содовый раствор, 5%-ный раствор мыльной эмульсии или 3%-ный раствор ЭМУС.

Распиловочные станки различаются главным образом по конструкции механизма подачи, который обеспечивает ручную и автоматическую, а также принудительную и свободную подачи. Свободную подачу используют в станках, работающих с абразивными кругами. В этом случае заготовка 3 постоянно поджимается к инструменту 2 с помощью груза 1 (рис. 12.2, а). При жесткой подаче перемещение заготовки 3 на алмазный инструмент 2 производится посредством суппорта 1 (рис. 12.2, б). Скорость резания

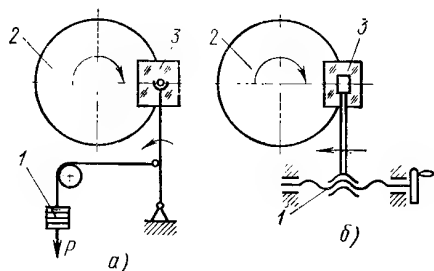


Рис. 12.2. Схемы распиливания стекла

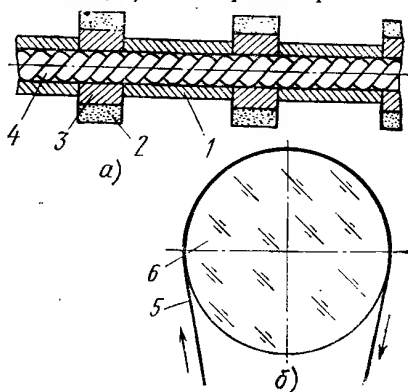


Рис. 12.3. Распиливание струной

при этом должна быть $v=16\div 40$ м/с. Шероховатость поверхности по Rz 20—10 мкм и наивысшую скорость распиливания обеспечивают алмазные отрезные круги. Они дают толщину распила около 1 мм, в то время как абразивные круги до 3 мм.

Распиливание струной применяют для разделки заготовок размером до 2000 мм и более. Струна (рис. 12.3, а) представляет собой стальной трос 4, на который надеты кольца 3 с алмазными коронками 2 и промежуточными втулками 1. Струна 5 охватывает заготовку 6, постоянно поджимаясь к ней в процессе распиливания, и перемещается (рис. 12.3, б).

12.2. Формоизменяющие операции

К формоизменяющим операциям относят сверление, дробление, шлифование, кругление, точение и другие операции, в результате которых изменяется форма и размеры исходной заготовки, и она по своей конфигурации приближается к требуемой детали. Эти

операции производят на заготовительных участках оптических цехов.

Сверление и высверливание стекла. Эти операции применяют для получения отверстий в оптических деталях или круглых заготовок из листового стекла. Шероховатость обработанных поверхностей в пределах $Rz\ 6,3—3,2$ мкм.

Сверла из кристаллов алмаза используют для получения отверстий диаметром до 2 мм (рис. 12.4, а). Сверлят по предваритель-

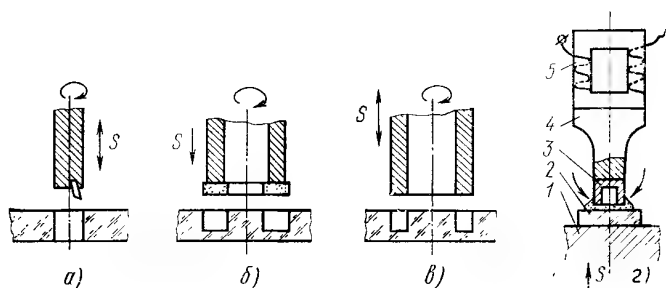


Рис. 12.4. Обработка отверстий

ной разметке на сверлильных станках с применением ручной подачи. Смазывающе-охлаждающие жидкости (СОЖ): машинное масло, керосин, скипидар. В процессе сверления сверло периодически поднимают над заготовкой, чтобы смазывающая жидкость проникла в зону обработки. На поверхность заготовки в местах «входа» и «выхода» сверла появляются выколки. Чтобы их избежать, с двух сторон заготовки приклеивают специальные пластинки или оставляют на заготовке дополнительный припуск на шлифование после сверления.

Алмазные трубчатые сверла (рис. 12.4, б) и круги типа АП1П и АК применяют для сверления отверстий и высверливания круглых заготовок диаметром от 2 до 200 мм и более с шероховатостью по $Rz\ 6,3—3,2$ мкм. Сверлят по разметке на вертикально-фрезерных или координатно-расточных станках при подаче $s=0,1$ м/мин и скорости резания $v=15÷20$ м/с.

Когда алмазное сверло утрачивает работоспособность, производят регенерацию алмаза. Коронку с алмазным слоем снимают обтачиванием на токарном станке, а полученную стружку, содержащую алмазные зерна, подвергают травлению в серной и соляной кислотах. Полученные таким образом зерна алмаза вновь используют для изготовления алмазного инструмента.

Металлические трубки (рис. 12.4, в) со свободным абразивом применяют для сверления и высверливания заготовок диаметром от 3 до 150 мм. Сверление производят на вертикально-сверлильных станках с ручной подачей и периодическим подъемом трубки над заготовкой. Абразивная суспензия подается в зону обработки вручную. Сверление трубчатым инструментом со свободным абразивом используют только в мелкосерийном производстве, так как

этот процесс трудоемкий и не обеспечивает высокого качества сверления.

Ультразвуковая прошивка (дробление). Эту операцию применяют для получения глухих и сквозных отверстий сложной конфигурации размером до 80 мм (рис. 12.4, з). При прошивке достигается погрешность линейных размеров до десятых долей миллиметра, шероховатость по R_z 20—40 мкм. Ультразвуковая прошивка основана на использовании магнитострикционного эффекта. Эффект магнитострикции заключается в изменении размеров ферромагнитных материалов в переменном магнитном поле. Сердечник из ферромагнитного материала (пермаллоя, пермендюра, железа, никеля, кобальта), помещенный в переменное магнитное поле, изменяет свои размеры на несколько микрометров. Ультразвуковые колебания с амплитудой 15—30 мкм концентрируются, усиливаются и передаются на инструмент.

Отделению разрушенного материала (диспергированию) способствует явление кавитации, протекающее в жидкости (абразивной суспензии) и заключающееся в образовании на конце инструмента пузырьков разрежения, которые создают подобие микроскопического и гидравлического удара.

Прошивку выполняют на ультразвуковом прошивочном станке, например, модели 4772, состоящем из магнитострикционного преобразователя 5, получающего колебания частотой 16—25 кГц от генератора, концентратора 4 с инструментом 3 и стола 1 с заготовкой 2 (рис. 12.4, з).

Стальные инструменты-концентраторы в зависимости от назначения делят на сплошные, пустотелые и ножевые. Сплошные применяют для получения закрытых полостей, глухих или сквозных отверстий диаметром 1—3 мм. Пустотелые инструменты используют при прошивке сквозных отверстий большого диаметра и вырезании пластин из плоских заготовок. Ножевые инструменты предназначены для разрезания в основном из полупроводниковых материалов на заготовки.

Подача инструмента на заготовку автоматическая. В зону обработки подается водная абразивная суспензия из карбида бора. Производительность, точность и шероховатость обработки зависят от материала заготовки, материала и зернистости абразива, состава абразивной суспензии, глубины прошиваемого отверстия и амплитуды колебания инструмента.

Алмазная ультразвуковая обработка. Этот способ обработки оптических материалов заключается в том, что на вращающийся алмазный инструмент накладываются продольные ультразвуковые колебания, которые интенсифицируют процесс хрупкого разрушения материала и позволяют резко снизить частоту вращения алмазного инструмента без потери его работоспособности и качества обработки стекла. Существует несколько модификаций алмазных ультразвуковых вращающихся головок (УЗВГ). Схематически они состоят из неподвижного корпуса 1 и вращающегося относительно него подвижного корпуса 2 (рис. 12.5). Верхняя часть 3 головки

выполнена в виде конуса для установки УЗВГ на металлорежущий станок, в центральной части закреплен пакет магнитострикционного преобразователя 4, который присоединен к подвижному корпусу головки с помощью тонкого фланца, расположенного в узле колебаний концентратора. Магнитострикционный пакет и рабочий инструмент охлаждаются водой или СОЖ, подаваемой от специального насоса. Охлаждающая жидкость поступает через штуцер 5 в боковые отверстия концентратора, охлаждает пакет и затем поступает через центральное отверстие концентратора и рабочего инструмента в зону обработки. Защиту подшипников и токопроводящих деталей обеспечивают с помощью резиновых манжет 6. Посадочное место инструмента имеет центрирующий пояс 7 и резьбовой хвостовик, с помощью которого инструмент закрепляют в концентраторе ультразвуковой головки.

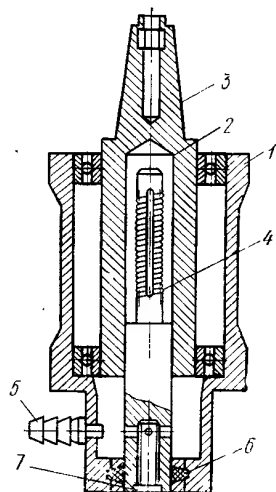


Рис. 12.5. Ультразвуковая вращающаяся головка

Кругление — операция по приданию заготовке или группе заготовок, соединенных вместе, цилиндрической формы. Круглению подлежат заготовки и прессывки светофильтров, защитных стекол, клиньев, круглых пластин и линз, когда последние изготовляют не из прессывки. Шероховатость обрабатываемой поверхности до $Rz\ 3,2$ мкм. Кругление выполняют на круглошлифовальных или бесцентрово-шлифовальных станках, на обдирочных станках вручную и специальных станках для кругления.

На круглошлифовальных станках производится кругление заготовок диаметром от 8 до 200 мм абразивными или алмазными кругами типа АПП. Заготовки 5, предварительно склеенные в столбик, зажимают в центрах 1 круглошлифовального станка через специальные металлические шайбы 2 и войлочные или картонные прокладки 3. Чтобы избежать выколов, на краю деталей приклеивают дополнительные защитные стекла 6 (рис. 12.6). Шлифовальный круг 4 имеет вращательное движение, противоположное вращению заготовки. Заготовки имеют продольную подачу ($s_{пр}$), инструмент — поперечную (s_t). Охлаждающая жидкость — эмульсол.

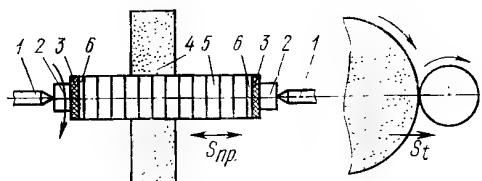


Рис. 12.6. Кругление заготовок на круглошлифовальном станке

Контроль диаметра деталей после кругления производят скобами, штангенциркулями, микрометрами. Если заготовки круглые,

имеют плоские шлифованные торцы и диаметр более 20 мм, то их можно круглить не склеивая. Для этого заготовки укладывают на лоток, имеющий форму угольника, и, подложив с боков металлические прокладки, зажимают в центрах круглошлифовального станка, предварительно смачивая водой поверхность заготовок.

Бесцентрово-шлифовальный станок типа БШС-10 применяют в серийном производстве для кругления оптических заготовок диаметром до 10 мм алмазным кругом.

Кругление деталей на обдирочном станке (см. рис. 12.7) свободным абразивом является менее прогрессивным способом обработки, его применяют только в мелкосерийном и единичном производстве. Заготовки предварительно склеивают в столбик 3 воском при диаметре более 5—7 мм или шеллаком при диаметре менее 5 мм. Длина столбика не превышает 100—150 мм.

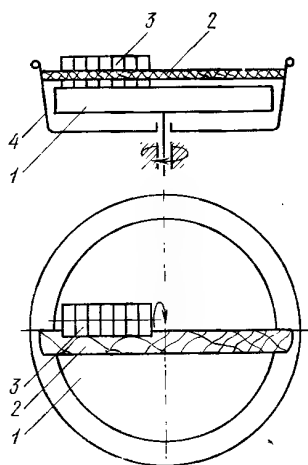


Рис. 12.7. Кругление заготовок на станке типа ОС-320

Кругление ведут вручную на обдирочных станках типа ОС-320 (рис. 12.7). Над плоским шлифовальным инструментом 1 помещают приспособление 2, прикрепляемое к тазу 4 обдирочного станка и представляющее собой деревянную или пластмассовую линейку с вырезом. Между линейкой и шлифовальником имеется промежуток около 2 мм. Толщина линейки не превышает 3 мм, а при круглении столбиков диаметром 3—5 мм — до 1 мм. Если исходные заготовки имели первоначальную квадратную форму, то перед круглением столбику придают форму многогранника, увеличивая постепенно число его граней. Столбик заготовок прижимают к линейке и вращающемуся шлифовальнику и поворачивают его вручную вокруг го-

ризонтальной оси. Абразивную суспензию подают периодически вручную.

Шлифование стекла. Алмазными, абразивными кругами и свободными абразивами предварительно обрабатывают исполнительные поверхности или окончательно — вспомогательные поверхности оптических деталей. Различают шлифование плоских, сферических и фасонных поверхностей.

Шлифование фасонных поверхностей — пазов, закруглений, фасок, выемок различной конфигурации, выполняют абразивными или алмазными кругами типа А2П, А5П, АГЦ и т. д. Обработку производят на универсально-фрезерных или специализированных станках. Заготовку крепят на столе станка в специальном или универсально-сборном приспособлении (УСП) через войлочные или пластмассовые прокладки. Охлаждающими жидкостями являются эмульсол, вода, содовый раствор, масла. Контроль

линейных размеров осуществляют универсальными и специальными материальными инструментами.

Шлифование плоских поверхностей оптических заготовок производят алмазными кругами типа АПВ и АПП на специализированных фрезерных или плоскошлифовальных станках.

При обработке на плоскошлифовальных станках с магнитным столом заготовку предварительно крепят в приспособлении механическим способом, а затем приспособление устанавливают на магнитный стол.

Обработку поверхностей пластин, светофильтров, параллельных сторон призм и плоских поверхностей линз производят на шлифовально-обдирочных станках ШО-1000 и ШО-1500 с диаметром инструмента 1000 и 1500 мм соответственно (рис. 12.8).

Инструмент — чугунный шлифовальник 2 — вращается с постоянной скоростью 6—7 рад/с. Над шлифовальником расположены две или три алюминиевые планшайбы 4 диаметром 350—500 мм с заготовками 6. Заготовки приклеивают воском или парафином к планшайбе или размещают в кольцевом сепараторе. Планшайбы расположены на штанге 3 и свободно вращаются и перемещаются с помощью кривошипного механизма 1. Давление на заготовки создается грузами 7. Обработку ведут шлифпорошками и микропорошками. Шлифпорошки зернистостью № 12 — № 8 подаются через воронку 9, а вода — из устройства 8. Абразивную суспензию микропорошков М28 и М20 в рабочую зону подают вручную. Для сбора отработанных абразивов и шлама станок снабжен защитным кожухом 5. Так как шлифовальник 2 со временем изнашивается неравномерно, то периодически, один-два раза в месяц, производят подналадку станка, которая заключается в изменении расположения планшайб на штанге 3.

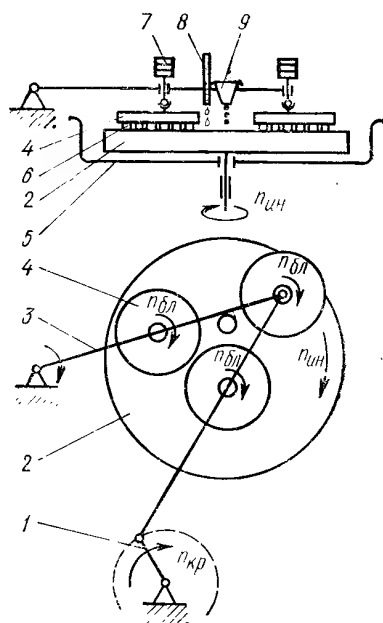


Рис. 12.8. Шлифование плоскостей на станке ШО-1500

Подшлифовку поверхностей кусков стекла и поштучную обдирку заготовок в условиях мелкосерийного и единичного производства производят на шлифовально-обдирочных станках вручную. Рабочий прижимает заготовку к торцу вращающегося чугунного шлифовального круга и совершает ею возвратно-поступательные и круговые перемещения. Абразивную суспензию подают в зону об-

работки кисточкой. Контроль линейных размеров производят скобами, микрометром, штангенциркулем или глубиномером.

Шлифование сферических поверхностей блоков производят на специальных станках типа «Алмаз 250» трубчатым алмазным инструментом (рис. 12.9). Блок заготовок 1 вращается вокруг своей оси со скоростью 0,2—1,0 рад/с. Инструмент 2, установленный к блоку под углом α , неизменным в процессе обработки, вращается со скоростью 200—300 рад/с. Охлаждающая жидкость — эмульсол — подается в зону резания через центральное отверстие инструмента.

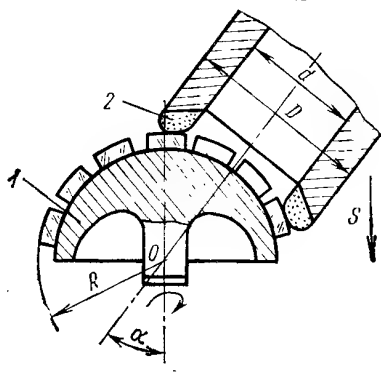


Рис. 12.9. Шлифование блоков заготовок трубчатым алмазным инструментом

В результате обработки образуется сферическая поверхность с центром, лежащим в центре пересечения осей вращения заготовки и инструмента. Радиус R вогнутой сферической поверхности связан с наружным диаметром

D трубчатого алмазного инструмента соотношением $R = D/2\sin \alpha$. Радиус R выпуклой сферической поверхности связан с внутренним диаметром трубчатого инструмента соотношением $R = d/2\sin \alpha$.

При настройке станка следят за тем, чтобы режущая кромка инструмента проходила через вершину блока. Каждый инструмент способен вести обработку группы сферических поверхностей близких радиусов. Имея в оптическом цехе набор инструментов различных размеров D , можно обрабатывать сферические поверхности любого радиуса. Контроль радиуса обработанного блока осуществляют с помощью притирочного инструмента.

Шлифование сферических поверхностей одиночных линз в серийном производстве производят трубчатым алмазным инструментом на станках типа АПС-15, АПС-70, АПС-100М (табл. 12.1).

В станке АПС-70 прессовка 3 крепится в мембранном патроне 2, закрытом кожухом 1, и вращается. Инструмент 5, установленный под углом α к оси заготовки, также вращается и имеет движение подачи s . Смазывающе-охлаждающая жидкость подается циркуляционным питателем через патрубок 4 (рис. 12.10). Постоянство радиуса кривизны обрабатываемой поверхности обеспечивается высокой стойкостью алмазного инструмента, компенсация износа которого производится после обработки нескольких десятков прессовок.

Подача заготовок в зону обработки происходит автоматически. Прессовки 4 загружаются в вибробункер 5 загрузочного устройства вручную (рис. 12.11). С помощью захвата 2, снабженного вакуумной присоской 3, прессовки переносятся в зону обработки и укладываются в мембранный патрон 6, а после обработки — вы-

нимаются и складываются в бункер 1, из которого по мере накопления удаляются вручную. При наладке станка трубчатый инструмент устанавливают в верхнем шпинделе таким образом, чтобы сферический пояс трубки перекрывал центр вращения заготовки.

Контроль сферической поверхности осуществляют притирочным инструментом. Толщина заготовки по центру обеспечивается автоматически с погрешностью $\pm 0,05$ мм.

При обработке на станке заготовок с другими параметрами — радиусом R , диаметром D и толщиной t — следует сменить патрон нижнего шпинделя, заменить трубчатый алмазный инструмент, изменить угол его наклона, уста-

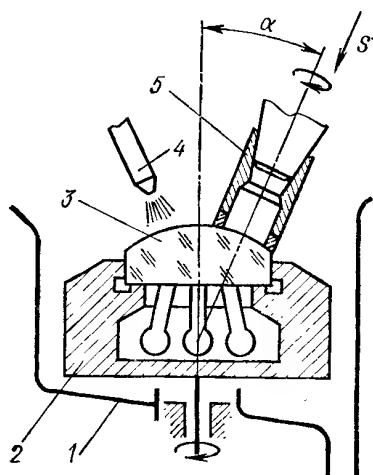


Рис. 12.10. Шлифование единичных заготовок трубчатым алмазным инструментом

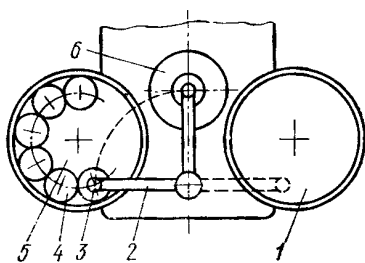


Рис. 12.11. Работа загрузочного устройства

новить упор, регулирующий толщину деталей. Накладка и настройка станка на партию пробных деталей занимает 1—2 ч.

Шлифование сферических поверхностей свободным абразивом вручную применяют в условиях мелкосерийного и единичного производства для отдельных заготовок. Обработку производят с помощью грибов и чашек на шлифовально-обдирочных станках абразивными суспензиями зернистостью от № 150 до М28.

Фасетирование — операция по нанесению конструктивных и технологических фасок на оптические детали после шлифования, полирования и центрирования. Конструктивные фаски на ребрах призм, пластин и линз снимают фасонным алмазным или абразивным кругом. У линз фаски наносят со стороны вогнутой поверхности под углом 45° . Со стороны выпуклой поверхности фаски не снимают, если отношение диаметра линзы D к ее радиусу R более 1,5. Размеры фасок назначают так, чтобы толщина линзы по краю была не менее $0,05D$. Фаски на прямоугольных пластинах и призмах наносят с помощью плоского алмазного или шлифовального круга вручную.

12.1. Станки для шлифования одиночных линз

Наименование	Модель	Размеры детали (блока), мм	Радиус кривизны детали, мм	Погрешность (±) обработ- ки, мм		Производи- тельность, шт/ч
				радиуса сферы	высоты блока	
Станок-автомат	АШС-15	5—20	3—∞	0,005	0,02	60—280
Станок-полуавтомат	АШС-40М	15—45	10—25	0,003	0,01	40—60
Станок-автомат	АШС-70	20—70	20—∞	0,005	0,02	60—240
Станок-автомат	АШМ-70К	20—70	20—∞	0,005	0,02	60—240
Сферошлифовальный полуавтомат	АШС-100М	30—120	25—70	0,005	0,02	40—60
Сферошлифовальный полуавтомат	Ш-150К	40—150	25—∞	0,005	0,01	40—60
Сферошлифовальный полуавтомат	ШС-250	70—250	40—∞	0,005	0,02	20—80
Станок шлифовальный	ШС-500	250—500	130—∞	0,005	0,05	20—80
Станок шлифовальный	ШС-800	500—1000	400—∞	0,005	0,1	40—130

Контрольные вопросы

1. Перечислите разделительные операции.
2. Как разрезают листовое стекло?
3. Как распиливают куски стекла?
4. Какие применяют способы сверления стекла?
5. Как шлифуют сферические поверхности?

13. ШЛИФОВАЛЬНО-ПОЛИРОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

13.1. Устройство станков

Шлифовально-полировальные станки предназначены для обработки оптических поверхностей способом свободного притира. Принципиального различия в операциях мелкого шлифования и полирования нет и поэтому возможно применение одинаковой кинематической схемы обработки, что позволяет создавать универсальные шлифовально-полировальные и полировально-доводочные станки, которые имеют меньшее число оборотов шпинделей, чем шлифовальные.

Шлифовально-полировальные станки обозначают условным шифром, указывающим технологическое назначение станка. Шифр (табл. 13.1) состоит из буквенного индекса, показывающего на-

13.1. Шлифовально-полировальные и доводочные станки

Наибольший диаметр детали (блока), мм	Типы станков для обработки оптических деталей с точностью		
	низкой	средней	высокой
20	ЗША-20	9ШП-20	ЗШПД-20
50	9ШП-50Л		СД-120
100	6ШП-100М		6ПД-100М
200	6ШП-200		4ПД-200
320	3ШП-320		3ПД-320
500	ШП-500		ПД-500М
700	ШП-700М	ШПД-700	ПД-750
1000	ШП-1000		ПД-1000
1500	ОС-1500	СПА-1500	

значение станка (ШП — шлифовально-полировальный, ПД — полировально-доводочный, СД — станок доводочный). Цифра перед буквенным индексом указывает количество шпинделей, а цифра после индекса — наибольший диаметр обрабатываемой детали или блока деталей. Например, 4ПД-200: четырехшпиндельный полировально-доводочный станок с максимальным диаметром обрабатываемой детали или блока до 200 мм.

Специфика работы станков типа ШП состоит в том, что на них изготавливают детали, точность которых на 2—3 порядка выше, чем точность деталей и узлов самого станка. Это достигается применением кинематической схемы обработки, материализующей на станке способ свободного притира, который приводит к образованию сферической или, в частном случае, плоской поверхности.

Конструкции всех станков типа ШП имеют четыре общих типовых узла: шаровой шарнир, соединяющий верхнее звено с поводком на каретке станка; кривошипно-шатунный механизм, качающий верхнее звено; вращающийся вертикально расположенный шпиндель нижнего звена; вращающееся верхнее звено — элемент кинематической пары инструмент — заготовка.

На обобщенной кинематической схеме универсальных станков типа ШП (рис. 13.1) показаны привод 1, трансмиссия 2, передающая движение на нижний шпиндель и вал кривошипа;

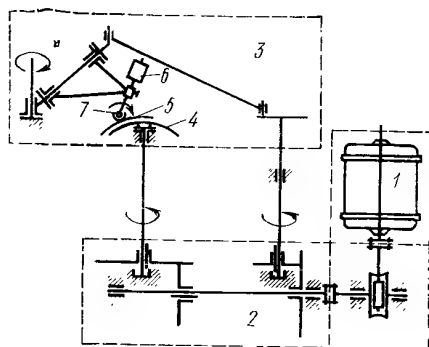
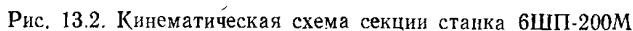


Рис. 13.1. Обобщенная кинематическая схема станков типа ШП

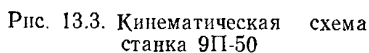
для возвратно - поступательного перемещения верхнего звена; нижнее звено 4 и верхнее звено 5; качающаяся каретка, несущая груз 6, и поводок с шаровым шарниром 7.

Станки типа ШП универсальны. Они предназначены для самых разнообразных работ по обработке сфер и плоскостей высокой, средней и низкой точности. Их кинематическая схема, принципиально не меняясь, получает все новые и более совершенные конструктивные оформления, из которых опишем только несколько типовых.

Станок 6ШП-200 М (рис. 13.2) предназначен для обработки оптических поверхностей средней и повышенной точности. Он имеет узел (сборочную единицу) привода от двигателя 14 с червячной передачей 13, узел нижнего шпинделя 9, от которого двухступенной зубчатой передачей вращение передается валу кривошипа 10. Кривошип, длина которого меняется винтовым механизмом 11, соединен с шатуном 12 и коромыслом 8. Движение коромысла передается колонкой 7 на верхний рычаг 5, имеющий на конце поводок верхнего звена с шаровым шарниром 6. Сила



Станок 9П-50 (рис. 13.3) с круговым расположением девяти рабочих и одного настроечного шпинделей предназначен для полирования в серийном производстве деталей и блоков до 50 мм диаметром большой крутизны и средней точности. Круговое расположение шпинделей создает специфические технологические возможности управления процессом обработки. От двигателя 1 через червячную пару 2 движение передается трансмиссии 3, которая огибает девять



шпинделей, прижимаясь к их шкивам 6 двумя натяжными роликами 4. Десятый шпиндель 5 остается вне зацепления и служит для наладки и правки инструмента. От того же ремня вращается шкив зубчатого редуктора, от которого кривошип через шатун качает стол, несущий десять поводков верхнего звена. При включении двигателя 7 поворачивается червячное колесо 8 и весь верхний корпус станка вместе с редуктором. Смена позиций шпинделей

создает возможности правки и замены инструмента, перестановки заготовок с одного шпинделя на другой для выравнивания срабатывания по всей поверхности.

На рис. 13.4 изображен одноступенчатый скоростной станок ШПС-350, который позволяет вести обработку оптических поверхностей с невысокой точностью на интенсивных режимах. Станок имеет десять частот вращения шпинделя в диапазоне 47—695 об/мин и вала кривошипа 23—896 об/мин. Регулировка рабочих скоростей станка плавная. Автоматический регулятор обеспечивает заданные временные режимы работы.

Создание алмазного инструмента для тонкого шлифования, позволяющего получать окончательную форму рабочей поверхности оптической детали с шероховатостью, пригодной для последующего полирования, вызвало появление новых конструкций высокопроизводительных станков. Например, станок СТША-400П (рис. 13.5), применяемый для тонкого алмазного шлифования плоских поверхностей деталей или блоков диаметром до 350 мм и высотой до 250 мм. Алмазный инструмент 7 диа-

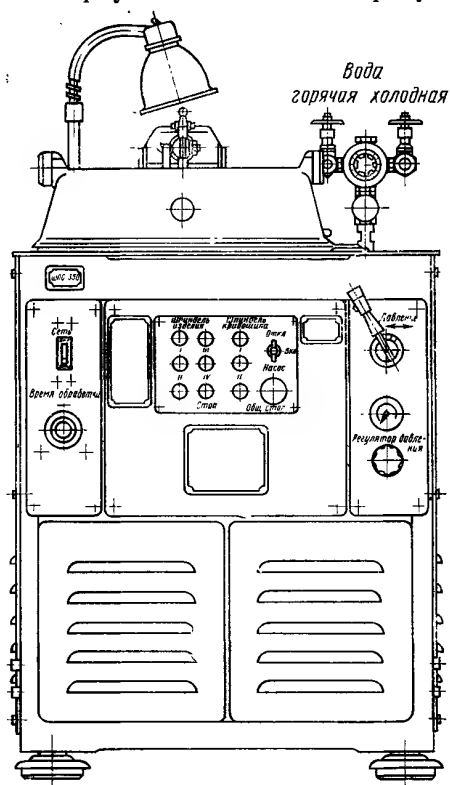


Рис. 13.4. Внешний вид станка ШПС-350

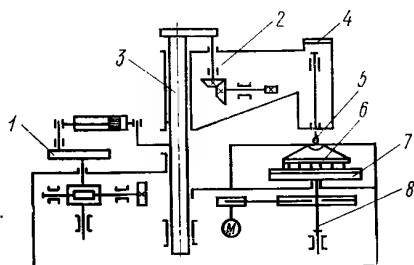


Рис. 13.5. Станок СТША-400П

метром 450—500 мм вращается на шпинделе 8 станка с частотой 600 об/мин. Блок деталей 6 устанавливается на рабочую поверхность алмазной планшайбы и прижимается к нему поводком 5 механизма пневмодавления 4 с усилием от 580 до 2800 Н. В процессе обработки каретка 2 с поводком совершает качательные движения вокруг центра колонны 3 от кривошипно-шатунного механизма 1. Число двойных ходов поводка 15, 20, 25 в минуту.

Для изготовления в массовом производстве оптических деталей низкого и среднего качества (очковые линзы, детали осветителей и т. д.) созданы поточные линии, в которых применяют станки 2ША-40, 2ША-150, 2П-40, 2П-63 для тонкого алмазного шлифования и полирования.

13.2. Приспособления для подачи суспензии

Важным условием, влияющим на процесс обработки оптических поверхностей, является способ подачи суспензии в зону обработки. Ручная подача суспензии сдерживает повышение производительности труда, отнимая у рабочего время и снижая его работоспособность. Поэтому на оптических станках устанавливают приспособления для автоматической подачи полировальной и шлифовальной суспензий в зону обработки заготовки. Суспензия подается с помощью автоматических питателей и дозаторов. Дозаторы — это устройства для подачи суспензии определенными небольшими дозами. Питатели подают суспензию непрерывно с избытком.

Наиболее распространен циркуляционный способ подачи суспензии в замкнутом цикле (рис. 13.6). Автоматический питатель в виде мембранного, лопастного или шестеренчатого насоса 4 подает по трубопроводу 1 суспензию через шланг 2 на открывающийся край обрабатываемой поверхности. Избыток суспензии стекает в таз 3 и оттуда по трубопроводу 5 возвращается в сборник питателя (ПА-22 — питатель автоматический производительностью 22 л/мин). Шлифующая способность абразивной суспензии сохраняется до восьмикратной перекачки всего объема в замкнутой системе. Царапины при этом на обрабатываемой поверхности не появляются. Недостатком этого способа подачи является необходимость установки на станке 3—4 замкнутых систем с питателями для каждой крупности абразива. Для полирования нужна только одна система питания, автоматической системой подачи суспензии оборудованы главным образом станки ШП, используемые для полирования.

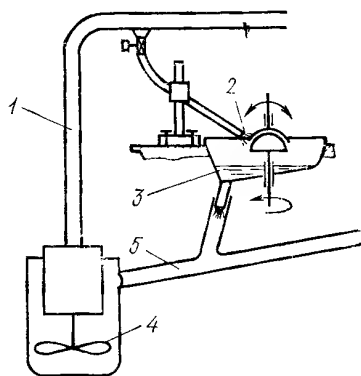


Рис. 13.6. Автоматический питатель суспензии

Существует способ подачи суспензии под действием центробежной силы (рис. 13.7). Вместе со шпинделем изделия 1 вращается с частотой 200—500 об/мин глубокий таз 4, в который налита суспензия 3. Под действием центробежной силы суспензия поднимается по стенкам таза и поступает в трубку 2, откуда струей подается на обрабатываемую поверхность блока 5. Этот способ прост, но применим только на быстроходных станках.

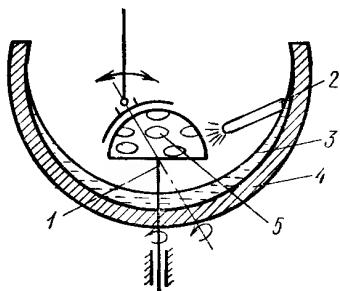


Рис. 13.7. Центробежный питатель суспензии

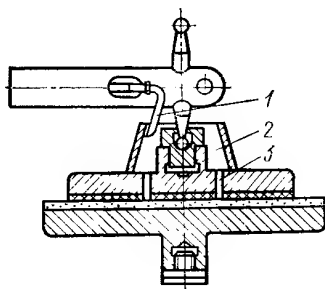


Рис. 13.8. Питатель для крупногабаритной оптики

При обработке плоских стекол большого размера суспензию для равномерного распределения лучше всего подавать в средние зоны. Для этого через шланг 1, скрепленный с поводком верхнего звена, суспензия подается на кольцевой канал 2 в верхней части инструмента, а оттуда через отверстия 3 она поступает на средние зоны заготовки (рис. 13.8).

13.3. Настройка станков

Процесс формообразования осуществляют в три этапа: подбирают геометрию рабочей поверхности инструмента и настраивают станок; интенсифицируют режимы обработки; стабилизируют настройку станка и режим обработки для автоматического получения заданных размеров и требуемой формы поверхности деталей. При этом важным этапом является настройка станка, для которой существует несколько приемов:

1. Изменяют отношение диаметров верхнего D_2 и нижнего D_1 звеньев в пределах $D_2/D_1 = 0,8 \div 1,4$. Наиболее часто используют $D_2/D_1 \approx 1$. Изменение соотношений D_2/D_1 вызывает резкое изменение процесса обработки. Например, если расположить заготовку снизу, а инструмент сверху и установить $D_2 > D_1$, то это вызывает «срыв края», резкое срабатывание крайних зон у заготовки. Если одно звено не выходит за край другого, то не обрабатываются крайние зоны, появляются ошибки формы — «подъем края». Эти ошибки, возникающие от неправильного подбора размеров звеньев, нельзя исправить перенастройкой станка.

2. Изменяют положения звеньев с нижнего на верхнее, что вы-

зывает изменение направления срабатывания на обратное. Этот прием настройки действует всегда однозначно.

3. Изменяют геометрические параметры станка, что существенно влияет на процесс формообразования. Изменение эксцентриситета e центра верхнего звена по отношению к оси шпинделя должно быть в пределах $e = (0,1 \div 0,65) D_1/2$. С увеличением эксцентриситета ускоряется срабатывание краевых зон нижнего звена и центральных зон на верхнем звене.

4. Изменяют размах движения верхнего звена с симметричным штрихом в пределах $2e_{\max} = L = (0,25 \div 0,6) D_1$. Штрихом называют след от движения центра поводка верхнего звена по нижнему. Длина штриха (размах движения верхнего звена) равна хорде, соединяющей крайние точки дуги качания вокруг оси коромысла каретки станка. Если штрих проходит симметрично через ось вращения шпинделя, то его длина равна $L = 2e_{\max}$, такой штрих называют симметричным центральным. Если изменяют длину шатуна, то штрих сместится на e_0 параллельно симметричному штриху и станет несимметричным. Если изменяют длину коромысла, то штрих сместится на $e_{\min}$ и не будет проходить через центр. Такой штрих называют нецентральной, смещенной перпендикулярно штриху. Смещения e_0 и $e_{\min}$ сложно выполнить, они слабо влияют на процесс формообразование обрабатываемой поверхности.

Обычно изменяют длину симметричного центрального штриха пропорционально длине кривошипа, что эффективно действует на процесс формообразования, выравнивает распределения работы инструмента по зонам.

5. Изменяют частоту вращения n_1 шпинделя при свободном вращении верхнего звена, что приводит к интенсификации обработки и не меняет существенно направление изменения кривизны обрабатываемой поверхности. При этом сохраняют отношение $n_2/n_1 \approx 0,6 \div 0,9$, где n_2 — частота вращения верхнего звена; нижний предел относится к полированию, а верхний к шлифованию.

6. Изменяют частоту вращения шпинделя и кривошипа $n_{кр}$ в пределах $n_{кр}/n_1 = 0,5 \div 2,5$. Обычно $n_{кр}/n_1 = 1$. Применять $n_{кр}/n_1 \approx 2,5$, увеличивая $n_{кр}$, не рекомендуется из-за появления значительных динамических усилий; однако этот прием предотвращает появление бугра в центре обрабатываемой поверхности. Отношение $n_{кр}/n_1$ можно увеличивать, уменьшая частоту вращения шпинделя. Это более равномерно распределяет обработку по зонам притирающихся поверхностей, но снижает производительность процесса.

Статистические данные показывают, что для воздействия на ход процесса формообразования чаще всего применяют в качестве приема регулирования и поднастройки правку инструмента, затем изменяют длину штриха и реже — положение штриха или число оборотов вала кривошипа и шпинделя.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные узлы станков типа ШП.
2. Расскажите об устройстве шлифовально-полировального станка.

3. Укажите основные типы шлифовально-полировальных станков.
4. Как подается абразивная суспензия на обрабатываемую поверхность?
5. Назовите основные способы настройки станков типа ШП.

14. ОПЕРАЦИИ ШЛИФОВАНИЯ И ПОЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

14.1. Среднее и мелкое шлифование

Операции шлифования предназначены для придания оптической детали заданной формы с окончательными линейными и угловыми размерами, требуемыми классами чистоты и шероховатостью поверхностей 0,3—0,5 мкм.

На производительность процесса шлифования оказывают влияние технологические факторы и рациональность приемов обработки. В оптическом производстве одинаково важно как повышать интенсивность съема припуска, так и получать поверхности с требуемым качеством.

Технологические факторы шлифования. Природа абразива шлифовальника оказывает большое влияние на съем материала. Чем тверже и прочнее зерна, тем интенсивнее происходит разрушение стекла. Шлифующая способность абразивов различной природы при одинаковой крупности зерен характеризуется относительными коэффициентами: песок — 1,0; электрокорунд — 2, карборунд — 3, алмаз — 10. Более твердые порошки при данной зернистости создают рельефный слой большей толщины, чем мягкие. Прочные зерна работают дольше, так как выдерживают большее число ударов без разрушения и медленнее перетираются друг о друга.

Чем тверже материал шлифовальника, тем интенсивнее идет шлифование. Чем мягче материал шлифования, тем меньше опасность появления царапин. Интенсивность съема стекла прямо пропорциональна размеру зерен.

Крупности зерен абразива прямо пропорционален съем припуска. Чем крупнее абразив, тем большей толщины рельефный слой. Зерна, которые в 4 раза крупнее зерен основной фракции, при содержании их в абразиве больше 5% оставляют царапины. Если их в абразиве меньше 5%, то они быстро раздавливаются и царапин на обрабатываемой поверхности не оставляют. Крупность абразива меняется между моментами подачи свежих порций суспензий. Зерна в процессе обработки перетираются и уменьшаются по среднему размеру. Чтобы интенсивность обработки сохранилась, необходимо подавать порции свежей суспензии через регулярные промежутки времени.

Расход абразивной суспензии определяется количеством абразивных зерен и воды, подаваемых во времени. Влияние расхода суспензии на скорость удаления припуска определяется понятием оптимального расхода. Если подавать суспензии мало, то меньше зерен участвует в процессе съема стекла и, следовательно, интенсивность обработки невысокая. Если зерен много, то они перетира-

ются друг о друга. Расход суспензии определяет скорость, с которой разрушенные зерна заменяются новыми. Если расход суспензии достаточен, то поддерживается стабильная интенсивность разрушения стекла, соответствующая заданным параметрам режима обработки. Процесс шлифования характеризуется удельным и оптимальным расходами суспензии. Удельным называют расход суспензии на единицу поверхности стекла при единичных значениях силы давления, относительной скорости и принятой крупности и природы абразива. Расход суспензии, при котором интенсивность стекла наибольшая, а подача суспензии наименьшая, называют оптимальным. Применяют также неограниченную подачу суспензии, при которой расход ее во много раз больше оптимального. Это способствует интенсификации и уменьшению тепловых деформаций, что в свою очередь увеличивает точность обработки. Соотношения между объемами жидкой и твердой фаз (Ж:Т) суспензии поддерживают в пределах от 3 до 5. При этом интенсивность обработки достаточная и царапин не возникает.

Место подвода суспензии влияет на неравномерность высоты поверхностных неровностей. Если подача ее ведется на открывающийся край инструмента или блока, то образуется закрепление неровностей на краю обрабатываемой поверхности, при высокой скорости вращения суспензия сбрасывается, так и не приняв участие в процессе шлифования стекла. Если подача ведется через поводок верхнего звена или в центральные зоны обрабатываемой поверхности через отверстия в верхнем инструменте, то абразив весь используется в работе и распределяется равномернее, что способствует увеличению точности обработки.

Удельное давление при шлифовании колеблется от 50 до 200 г/см². В этих пределах точность при правильно подобранных других параметрах обработки не снижается с увеличением давления. Если давление очень мало, то ударного действия недостаточно, чтобы разрушать стекло и дробить зерна абразива. При слишком большом давлении зерна быстро раскалываются и интенсивность съема стекла уменьшается. Чем больше давление, тем больше следует подавать суспензии. Повышение давления до предельных значений не ведет к образованию царапин.

Скорость с ее увеличением интенсифицирует процесс шлифования. При среднем и мелком шлифовании окружная скорость на краю нижнего звена лежит в пределах от 0,5 до 5 м/с. При большей скорости могут появиться царапины, что снизит производительность. Увеличение скорости вызывает разогрев деталей, что отрицательно сказывается на точности обработки.

Рациональные приемы шлифования. После расточки резцом корпуса инструмента его сферическую поверхность обрабатывают шабером и расшлифовывают абразивной суспензией на вспомогательных блоках. Образуется волнистая с кольцевыми поясами близкая к сфере рабочая поверхность инструмента шлифовальника. Расчетный радиус шлифовальника контролируют сферометром или шаблоном. Радиус сферы на стекле проверяют притиркой к

шлифовальнику для последующего перехода к абразиву более мелкой зернистости.

Шлифовальники изнашиваются приблизительно в 20 раз медленнее, чем обрабатывается стекло. Однако в течение рабочей смены приходится править шабером геометрию рабочей поверхности инструмента так, чтобы радиус заготовки оставался близким к расчетному.

При обработке поверхностей, близких к полусфере, число переходов инструмента увеличивают до четырех, чтобы уменьшить вероятность появления царапин, особо опасных на краю такой заготовки; способ расчета радиусов шлифовальников при этом не меняется.

Соотношение диаметра шлифовальника к диаметру обрабатываемой поверхности можно изменять в пределах от 0,9 до 1,4, если первый находится сверху, а вторая снизу. Если шлифовальник располагается снизу, то он должен быть больше блока. Выход за эти проверенные практикой соотношения вызывает погрешности формы обрабатываемой поверхности, которые последующим полированием не исправляются. При нормальном соотношении диаметров чрезмерное увеличение размаха резко повышает давление на краю звена, что приводит к срыву фаски и образованию ямы в центре верхнего звена.

14.2. Полирование

Рациональные приемы полирования. Полирование выполняют одним инструментом, но в течение операции его несколько раз правят (подрезают). Полный припуск на полирование складывается из рельефного слоя после мелкого шлифования толщиной 3—5 мкм и трещиноватого слоя около 15 мкм.

Операцию полирования подразделяют на удаление шлифованного рельефного слоя — «сгонку матированной поверхности» и получение заданного размера и требуемой формы — подгонку «цвета». Первый этап проходит быстро, удаляется слой (3—5 мкм) поверхностных микронеровностей. Длительность второго этапа зависит от выбранной настройки станка и формы полировальника. Полирование прерывают на правку инструмента с остановкой станка, промывку и контроль обрабатываемой поверхности пробным стеклом с затратой времени на стабилизацию интерференционной картины — «отстой цвета», поднастройку станка. Вспомогательное время в несколько раз превышает машинное, которое идет на удаление трещиноватого слоя толщиной около 15 мкм. Всего на полирование уходит приблизительно в 20 раз больше времени, чем на шлифование.

При полировании подложка инструмента притирается к обрабатываемой поверхности стекла и принимает его радиус. Поэтому радиус рабочей поверхности полировальников не рассчитывают. Детали с допуском на полированную поверхность менее $N=5\div 10$

обрабатывают полировальниками со смоляной подложкой. Детали менее точные (простые лупы, очковые стекла, конденсоры и др.) обрабатывают полировальниками с подложкой из сукна или фетра, которые позволяют интенсифицировать режимы обработки и производить «сгонку матированной поверхности» в 1,3—1,5 раза быстрее.

У плоских полировальников на корпусе лежит слой смолы или фетра от 5 до 20 мм толщиной. Радиус на корпусе смоляного полировальника выбирается так, чтобы слой смолы в центре был на 30% толще, чем в средних зонах. Тогда после подрезки полировальников к окончанию работы во всех зонах на краю и в центре слой смолы будет иметь одинаковую толщину и формообразование будет идти наиболее успешно.

Смола или фетр, сукно, нанесенные на корпус инструмента, подготавливают к работе — располировывают. Для располировки инструменты разогревают в горячей воде. При этом смола размягчается. Инструмент, смазанный густой суспензией, под большим нажимом в течение нескольких часов притирают к поверхности вспомогательного блока. Нерасполированные инструменты портят обрабатываемую поверхность стекла, срывая фаски и создавая большие местные погрешности формы.

Размеры диаметров сплошных полировальников выбирают на основе данных производственного опыта. В среднем диаметры полировальников и блоков или сплошных заготовок приблизительно одинаковы.

Технологические факторы полирования. Чем тверже зерна полирующих порошков, тем интенсивнее протекает съем стекла. Полирующая способность порошков различной природы при одинаковой крупности зерен характеризуется относительными коэффициентами: крокус — 1,0, полирит — 1,5, окись хрома — 2,1. Твердые зерна на мягких стеклах могут оставлять «ласины» — небольшие без рваных краев линейчатые углубления на поверхностной пленке. Связь между химическим составом стекол и интенсивностью споллирования имеется, но проявляется строго выборочно; химические ускорители применять не рекомендуется; используют только водные суспензии со слабо кислой реакцией.

Крупность зерен полирующих порошков колеблется от 0,4 до 2,3 мкм. Интенсивность споллирования прямо пропорциональна крупности зерен. Зерна меньше 0,3 мкм вообще не споллируют стекло, так как образуется несжимаемый слой жидкости.

Расход полирующей суспензии должен быть оптимальным. Этот фактор действует совершенно аналогично описанному для шлифования.

Давление при полировании изменяют от 2 до 20 кПа. Увеличение давления интенсифицирует съем стекла и не ведет к потере точности обработки. Повышение давления ограничивается геометрической формой детали, если она тонкая, разогревом и растеканием смолы. Чрезмерное давление при хорошо приработавшемся инструменте может вызвать его присасывание к блоку и отрыв

заготовок от наклейки. При очень малом давлении съём стекла может не происходить.

Скорость на краю нижнего звена выдерживают от 0,5 до 1 м/с. При большей скорости образуются царапины и погрешности формы оптической поверхности.

Температуру полирования поддерживают в пределах 20—40° С. С повышением температуры интенсивность полирования увеличивается, но увеличивается также скорость растекания смолы. При этом необходимо чаще править инструмент, что может привести к потере производительности. Оптимальное соотношение этих технологических факторов находит рабочий, исходя из конкретных условий работы и заданной точности обработки.

Смола при работе полировальников растекается от центра к краям, и диаметр инструмента может несколько увеличиваться. Подрезкой крайних зон смоляного полировальника резко меняется характер обработки крайних зон поверхности заготовки. Если уменьшить размер полировальника, то крайние зоны заготовки обрабатываются меньше и изменение кривизны поверхности происходит на яму в средних центральных зонах. Если увеличивать размер полировальника, то резко увеличивается съём крайних зон заготовки и стекло срабатывается на бугор.

Подрезку ножом по различным зонам полирующей поверхности применяют в условиях мелкосерийного производства как основной прием регулирования хода формообразования оптических поверхностей. Прорезы смолы уменьшают заполнение в зонах и, следовательно, сопротивление износу. В зонах с прорезами смола растекается быстрее, чем в сплошных, и кривизна обрабатываемой поверхности подложки меняется. Вслед за этим соответственно изменяется кривизна обрабатываемой оптической поверхности.

Если резы делают в крайних зонах вогнутого полировальника, то кривизна обрабатываемой выпуклой поверхности соответственно уменьшается (рис. 14.1, а).

Если резы выполняют в центральных зонах выпуклого полировальника, то кривизна обрабатываемой вогнутой поверхности соответственно уменьшается (рис. 14.1, б).

Ровные резы по всей поверхности ускоряют процесс споллирования стекла (рис. 14.1, в). Нанесение резов производят интуитивно на основе выработанного опыта. Это, по су-

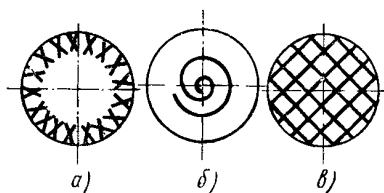


Рис. 14.1. Резы на полировальнике

ти, обработка пробными рабочими ходами, при которой каждая подналадка инструмента вызывает необходимость контроля.

Полирование сферических поверхностей осложняется тем, что снятие слоя стекла изменяет радиус и нужно заранее угадать момент прекращения обработки в зависимости от ее интенсивности. Момент получения заданного радиуса сферической поверхности должен также совпадать с образованием требуемой чистоты и ше-

роховатости. Предугадать этот момент при таком способе обработки очень трудно, так как на интенсивность обработки сказывается влияние многих технологических факторов. Зачастую допускают переполировку и делают новую схему резов, производят поднастройку станка, чтобы изменить кривизну поверхности в нужном направлении. Подгонку заданных параметров обрабатываемой поверхности производят при непрерывном регулировании формообразования с «ямы» на «бугор» и в обратном направлении.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит скорость шлифования?
2. Как налаживают шлифовальник перед обработкой?
3. Назовите наиболее рациональные приемы шлифования.
4. Как наносят резы на полировальник?

15. ПОКРЫТИЯ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

15.1. Виды покрытий

Классификация. Тонкие пленки металлов или диэлектриков, нанесенные на оптические поверхности, изменяют свойства и назначение оптических деталей. Существует несколько видов покрытий оптических деталей.

Зеркальные покрытия получают нанесением непрозрачных тонких пленок металла или диэлектриков на переднюю или заднюю поверхность оптической детали, являющейся в данном случае подложкой зеркала. Эти покрытия характеризуются коэффициентом отражения ρ , выраженным в процентах.

Светоделительные покрытия выполняют нанесением прозрачного тонкого слоя металла или диэлектриков на оптическую поверхность. Они характеризуются соотношением коэффициентов отражения и пропускания ρ/τ при известном светопоглощении.

Просветляющие покрытия получают нанесением тонких пленок диэлектриков на оптическую поверхность детали. Они характеризуются коэффициентом остаточного отражения ρ .

Фильтрующие нейтральные покрытия переменной плотности и интерференционные покрытия выполняют нанесением на поверхность оптической детали тонких пленок металлов и диэлектриков. Фильтрующие покрытия характеризуются длиной волны λ пропускания или отражения, коэффициентом пропускания τ_λ или отражения ρ_λ на длине волны, шириной спектрального интервала на половине максимума пропускания $\Delta\lambda_{0,5}$ и фоном фильтра τ_f .

Защитные покрытия осуществляют нанесением на поверхность стекла пленок неорганических и органических веществ. Они служат защитой от разрушения, образования налетов и других дефектов. Общее требование к защитным покрытиям заключается в обеспечении химической и механической прочности стекла при неизменных оптических свойствах.

Токопроводящие покрытия получают нанесением на поверхность стекла токопроводящего прозрачного слоя некоторых металлов с образованием на нем родиевых или серебряных электродов. Эти покрытия предназначены для предохранения от запотевания и обледенения оптических поверхностей деталей электрообогревом.

Поляризующие покрытия выполняют осаждением веществ из растворов титанового, кремневого эфиров и азотнокислого тория. Эти покрытия характеризуются степенью поляризации светового потока в определенном участке спектра.

Свойства и обозначения покрытий. Покрытия (табл. 15.1) ха-

15.1. Условные обозначения покрытий

Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Зеркальное (внешнее)		Фильтрующее	
Зеркальное (внутреннее)		Защитное	
Светоделительное		Токопроводящее	
Просветляющее		Поляризующее	

рактизуются как указанными оптическими показателями, так и эксплуатационными: химической устойчивостью, степенью устойчивости к влажной атмосфере, органическим растворителям, морской воде и механической прочностью.

По прочности на истирание покрытия делят на пять качественных групп: 0 — особо прочные, допускающие чистку в полевых условиях; I — прочные, допускающие чистку с применением органических растворителей; II — средней прочности, допускающие чистку ватой или кистью; III — непрочные, не допускающие механической чистки; IV — механически и химически непрочные, требующие обязательной заклепки стеклом или другой защиты.

Количественно прочность на истирание характеризуется числом

оборотов детали, при котором на пленке покрытия образуется сквозная царапина, наблюдаемая через лупу. На приборе для истирания пленки, обеспечивающем вращение детали с частотой 500 об/мин под нагрузкой 1—3 Н с помощью резинового наконечника, смещенного от оси вращения детали на 5 мм, производят испытание на истирание. Покрытия 0-й группы прочности должны выдерживать свыше 3000 об/мин, покрытия III группы прочности — менее 600 об/мин.

Термическая прочность покрытий характеризуется степенью их стойкости к воздействию максимальной эксплуатационной температуры, перепаду температур, например, от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$, резкому перепаду температур (или термоудару), например, к резкому изменению температур от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$. Оптические свойства деталей и покрытий не должны изменяться до и после проведения испытаний.

Покрытия на чертежах оптических деталей обозначают непосредственно на поверхностях детали условным графическим знаком — символом покрытия (см. табл. 15.1); в примечании к чертежу повторением условного обозначения графического знака — символа покрытия, сокращенным наименованием типа покрытия, цифровым обозначением исходного материала покрытия, условным обозначением способа нанесения покрытия.

При нанесении на оптическую деталь нескольких различных покрытий в примечаниях к чертежу условно обозначают все виды покрытий в последовательности их нанесения, например зеркальн. 25РЗЕ72П. В технически обоснованных случаях примечания дополняют некоторыми значениями контролируемых оптических параметров, например светоделит. 1И при $\rho:\tau=1:1$, или значениями угла падения светового пучка; значениями рабочей длины волны с предельными отклонениями, если она отличается от средней длины волны белого света $\lambda=550$ нм, или рабочего спектрального интервала действия покрытия, например просветл. 44Р, 43Р для $\lambda=632\pm 10$ нм; особыми условиями нанесения, например значением температуры нагрева подложки при нанесении: просветл. 24И 300°C ; указанием наименования источников и приемников излучения, с которыми производят измерения.

Многослойные интерференционные покрытия из чередующихся двух исходных веществ обозначают следующей условной записью: $(ab) \times (n/2)$ — при четном числе слоев и $[(ab) \times (n-1/2)] \times a$ — при нечетном числе слоев, где a и b — чередующиеся четные и нечетные исходные материалы слоев покрытия, а n — число слоев покрытия. Например, поляриз. $(30Р.43Р) \times 6.30Р$. Многослойные интерференционные фильтрующие покрытия обозначают условной записью числа слоев, подложки, последовательным шифром чередующихся слоев исходных веществ в соответствии с данной системой слов, например фильтр, узкополосн. 17ПВН.. В-2Н-В.. НВ, где чисто 17 обозначает число слоев фильтра; П — подложка; В — слой вещества с высоким показателем преломления

оптической толщины $\lambda/4$; Н — слой вещества с низким показателем преломления оптической толщины $\lambda/4$; цифра 2 в шифре 2Н обозначает двойное значение оптической толщины промежуточного слоя. Материалы подложки, исходные материалы слоев и заданные значения длины волны и другие характеристики и параметры фильтра указывают в примечании.

15.2. Способы нанесения покрытий

Способы нанесения покрытий подразделяют на химические и физические. К химическим способам относят осаждение вещества из раствора, электролиз, травление, осаждение вещества из паровой или газовой фазы, к физическим — термическое испарение вещества в вакууме, катодное распыление, электронно-лучевое испарение вещества. Способ нанесения покрытий обозначают на чертеже детали следующей условной записью: осаждение вещества из раствора — Р; испарение в вакууме — И; электронно-лучевое испарение — ИЭ; катодное распыление — К; кистью, пульверизатором или центрифугированием — П; травлением — Т; нанесением расплава — Н; электролизом — Е; из газовой фазы — Г.

Все виды покрытий улучшают оптические свойства деталей, понижают чистоту поверхностей, на которые они нанесены.

Способ нанесения покрытий гидролизом спиртовых растворов. Этот способ применяют для получения просветляющих, светоделительных, фильтрующих и поляризующих покрытий оптических деталей. Основными пленкообразующими веществами являются растворы этиловых эфиров ортотитановой и ортокремниевой кислот, их смесей и раствор азотнокислого тория. Способ основан на быстрой омыляемости тонких слоев этиловых эфиров кислот под действием влажного воздуха комнатной температуры. Омыление — реакция спиртовой группы эфира с выделением воды. Получающийся при омылении этиловый спирт улетучивается, а двуокись кремния или титана осаждается на стекле прозрачной пленкой $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4 + 4\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $\text{Si}(\text{OH})_4 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2$.

На участке нанесения покрытий поддерживают $20\text{--}25^\circ\text{C}$ и влажность $50\text{--}60\%$. Более высокая температура или влажность приводит к интенсивному гидролизу и получению неоднородной пленки. При меньшей влажности пленка плохо сцепляется со стеклом из-за медленного протекания гидролиза.

Станок для нанесения покрытий (рис. 15.1) имеет станину с вертикально расположенным шпинделем, заканчивающимся самоцентрирующим или вакуумным патроном для крепления оптических деталей. Частота вращения шпинделя плавно регулируется от 750 до 12 000 об/мин при стабильности числа оборотов $\pm 1\%$. Шпиндель станка расположен в защитном устройстве. Верх цилиндрической поверхности детали при закреплении остается свободным для беспрепятственного стекания излишков раствора. При нанесении покрытий на некруглые детали и призмы применяют патроны со специальными шторками, предназначенными для пре-

дохранения от завихрений воздушных потоков. Расположение и размеры шторок подбирают экспериментально.

Пленку сушат в термостатах, снабженных автоматическими регуляторами температуры с погрешностью регулировки $\pm 5^\circ \text{C}$. Температура нагрева может достигать 400°C . Технологический процесс нанесения покрытий состоит из нескольких операций.

Приготовление растворов веществ, из которых образуются пленки. Для получения пленок двуокиси титана берут 2—16 вес. ч. титанового эфира на 100 мл растворителя спирта или ацетона с катализатором соляной кислотой; для получения пленок двуокиси кремния — 3—45 вес. ч. на 100 мл растворителя. Концентрацию исходных веществ, определяющую величину показателя преломления и вязкость раствора, выбирают в зависимости от размеров числа слоев и толщины пленок. Для изготовления пленок используют свежеприготовленные растворы. Контроль годности растворов заключается в нанесении пленки определенной толщины (140 нм), сушке ее при 120°C и оценке качества просмотром под $6\times$ лупой.

Подбор условий нанесения покрытий выполняют экспериментально после выбора частоты вращения детали в зависимости от диаметра или диагонали детали и концентрации, а также количества растворов в зависимости от оптической толщины пленки и размеров детали.

Подготовка подложек заключается в чистке поверхности и удалении пыли беличьей кисточкой предварительно и после закрепления детали в патроне станка. Наличие мельчайших пылинок, следов жировых веществ, остатков смолы и полирита приводит к образованию неоднородной по толщине и непрозрачной пленки.

Нанесение растворов на подложку выполняют из градуированных пипеток 1 в центр просветляемой поверхности 2 (рис. 15.2) после включения станка и достижения требуемой частоты вращения.

Межоперационный контроль заключается в оценке качества и интерференционной окраски пленки, соответствующей требуемой оптической толщине. Неудачно нанесенную пленку нужно снять сразу же после ее нанесения ватным тампоном, смоченным в спирте.

Сушку пленки осуществляют в термостате в такой последовательности: прогрев, выдержка при определенной температуре и остывание. Длительность сушки и температура, при которой она

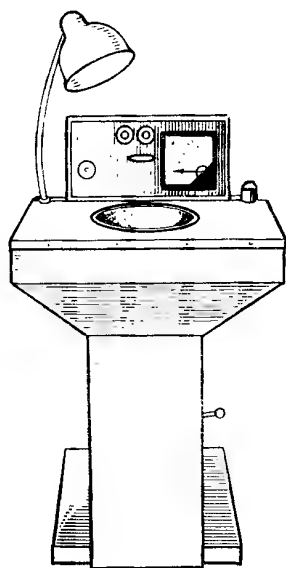


Рис. 15.1. Станок для просветления оптики

происходит, зависят от химического состава и концентрации веществ, числа слоев, толщины пленок, размеров детали. При сушке оптическая толщина пленки уменьшается. Цвет пленки до сушки и после устанавливается нормальными.

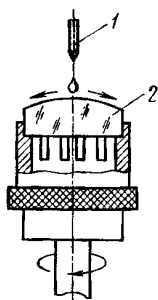


Рис. 15.2. Просветление линз осаждением вещества из растворов

Контроль деталей осуществляют просмотром и оценкой цвета в сравнении с цветовым образцом на темном фоне в отраженном свете лампы молочного стекла. Премо-сдаточный контроль заключается в измерении τ пленки на спектральных и фотометрических приборах и просмотром дефектов поверхности в отраженном свете через лупу 6 $\times$.

Механическую прочность пленок проверяют протиранием поверхности салфеткой, смоченной спиртом или эфиром. По механической прочности покрытия, полученные по таким типовым технологическим процессам, соответствуют I—II группе механической прочности. В чертежах технологический процесс двухслойного просветления поверхностей оптических деталей из растворов ортотитанового и ортокремневого эфиров условно обозначают так: просветл. 44Р43Р.

Достоинства этого способа следующие: технологический процесс нанесения покрытий не требует сложного оборудования и аппаратуры; возможен контроль и исправление характеристик покрытия в процессе нанесения слоев; полученные пленки имеют высокую механическую прочность и химическую стойкость.

Недостатки способа: детали имеют ограниченные размеры (10—260 мм), трудно обеспечить равномерность толщины пленки от центра к краю, особенно на деталях с малым радиусом кривизны и некруглой формой; малый эффект просветления стекол, имеющих $n=1,5$; процесс получения многослойных пленок длительный.

Способ нанесения покрытий восстановлением вещества из растворов. Способ применяют для серебрения светоделиителей и зеркал; основан на осаждении металлического серебра из солей. Способ позволяет получить зеркала с $\rho=95\div98\%$ и светоделиителей с различным отношением ρ/τ . Пленкообразующим веществом является азотнокислое серебро. Технологический процесс нанесения зеркальных покрытий серебра состоит из нескольких операций.

Подготовка подложек заключается в обработке их концентрированной азотной кислотой, протирке раствором щелочи и промывке дистиллированной водой. Поверхность подложки обрабатывают раствором двуххлористого олова, что способствует ускорению процесса серебрения и улучшает качество покрытия. После промывки до начала процесса серебрения подложки хранят в дистиллированной воде. Участки деталей, не подлежащие серебрению, защищают слоем парафина.

Растворы готовят заранее и хранят в темном и прохладном месте. Серебрящий раствор представляет смесь азотно-

кислого серебра, аммиака и щелочи; восстанавливающий раствор (инвертированный сахар) — смесь сахара-рафинада и раствора серной кислоты. Растворы хранят отдельно и смешивают в определенной пропорции перед началом серебрения. На процесс серебрения отрицательно влияют органические примеси, сернистые соединения, коллоидные вещества. Особое значение имеет чистота воды, которую дважды дистиллируют.

Серебрение ведут в покачивающейся ванне свежее приготовленной и охлажденной смесью серебрующего и восстанавливающего растворов. Толщина покрытия зависит от продолжительности процесса серебрения и его температурного режима.

Для образования плотного непрозрачного слоя зеркального покрытия процесс серебрения ведут 10—15 мин с дальнейшей промывкой в дистиллированной воде, повторяя этот цикл в новых растворах 3—4 раза. Толщина серебряного слоя в этом случае получается равной 0,3—0,5 мкм.

Светоделительные покрытия полупрозрачным серебрением получают при температуре раствора $+15^{\circ}\text{C}$ в течение 4—7 мин в зависимости от требуемого отношения q/τ .

Серебро, осевшее на не подлежащие серебрению поверхности, снимают ватным тампоном, смоченным в азотной кислоте. После промывки детали сушат в струе чистого сухого воздуха.

Защита зеркальных слоев имеет несколько видов. Светоделительные слои серебра защищают приклеенной к ним стеклянной пластиной. Зеркала с внешним отражением защищают пленкой из прозрачного лака толщиной 3—4 мкм. Защита лаком малоэффективна, ее применяют для поверхностей невысокой точности.

В зеркалах с внутренним отражением защищают заднюю поверхность слоя серебра меднением в ваннах; электролитом служит водный раствор медного купороса в серной кислоте, а катодом — покрытые серебром поверхности деталей. Для экранизации граней, не подлежащих меднению, применяют защитные приспособления. После меднения детали промывают, сушат и наносят из пульверизатора слой бакелитового лака с наполнителем — алюминиевой пудрой или порошком слюды. Затем детали помещают в термостат для отверждения пленки лака.

Контроль деталей направлен на обнаружение следующих дефектов: пятен, точек, царапин; неоднородности серебряного слоя; отклонение оптических характеристик от технических условий; неточности склейки (у светоделителей).

В чертежах технологический процесс осаждения серебра из раствора с последующим меднением и лакировкой условно обозначают так: зеркальн. 25РЗЕ72П.

К достоинствам серебрения относят простоту оборудования и возможность получения зеркал с внутренним отражением наибольшей группы прочности. Основной недостаток серебрения — ограниченное применение зеркал с задним покрытием и светоделителей с защитными стеклами.

Способ осаждения вещества пленки из газовой фазы. Способ применяют для образования на стекле токопроводящих прозрачных пленок двуокиси олова, имеющих удельное поверхностное сопротивление 100—500 Ом, прозрачных в области спектра 0,4—2 мкм и обладающих высокой химической стойкостью и механической прочностью.

Основным пленкообразующим веществом является двуххлористое олово. Способ основан на обработке поверхностей оптических деталей в парах двуххлористого олова; при этом на поверхности детали образуется прозрачная полупроводниковая пленка двуокиси олова. Нанесение пленки производят в установке (рис. 15.3),

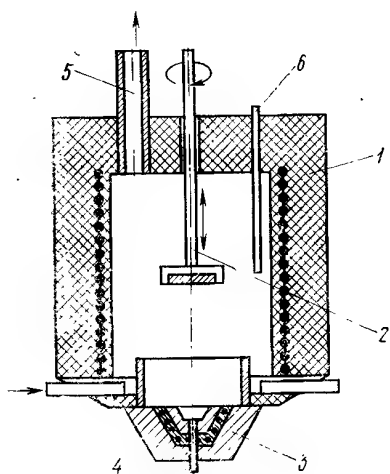


Рис. 15.3. Печь для нанесения покрытий гидролизом

состоящей из электропечи 1, держателя подложки 2, печи испарителя 3 с тиглем 4. Установка снабжена термопарами 6 для измерения температуры и вытяжным устройством 5 для удаления образующегося в печи хлористого водорода. Технологический процесс нанесения покрытий состоит из нескольких операций.

Подготовка исходного вещества основана на обезвоживании двуххлористого олова в термостате с дальнейшим размельчением до мелкого порошка.

Подготовка подложки заключается в промывке детали в мыльной воде, травлении в кислоте, промывке водой, спиртом, сушке в термостате. Травление подложек в кислоте необходимо

для предупреждения взаимодействия паров двуххлористого олова с щелочами на поверхности стекла, что ухудшает качество полученного покрытия.

Загрузку подложки в установку осуществляют в оправке держателя. Поверхности, не подлежащие обработке, экранируют оправкой или асбестом. Поместив держатель с подложкой на нужной высоте, печь постепенно нагревают до рабочей температуры. Скорость нагрева зависит от марки стекла, размеров и формы детали; рабочая температура — от марки стекла и колеблется от 375 до 420° С. Нагрев печи испарителя производят до температур, превышающих на 20—30° С рабочую температуру расплавления двуххлористого олова.

Нанесение покрытия осуществляют при вращении держателя с подложкой в тигле с предварительно расплавленным двуххлористым оловом. В процессе образования покрытия через некоторое время один-два раза осуществляют визуальный контроль цвета с помощью осветителя и зеркальной системы. По достиже-

нии установленного заранее цвета производят контроль электрического сопротивления пленки. Измерение сопротивления осуществляют без вращения держателя подложки и с подключением к покрытию вилки с контактом.

Охлаждение детали производят после достижения необходимого сопротивления пленки; печь-испаритель снимают с установки и держатель опускают в нижнее положение.

Визуальным осмотром оценивают качество пленки на равномерность по толщине. В случае отбраковки покрытие удаляют порошком металлического цинка в соляной кислоте. Цинковая пыль и соляная кислота, смешиваясь на поверхности, выделяют атомарный водород, который разрушает пленку без разрушения полированной поверхности.

Нанесение электродов производят одним из двух способов: гальваническим нанесением пленки родия с последующим лужением; выжиганием серебряной пасты.

Просветление токопроводящей пленки осуществляют однослойным покрытием двуокиси кремния гидролизом спиртовых растворов. Токопроводящее покрытие обладает поглощением до 4% и повышает коэффициент отражения до 18% в зависимости от толщины пленки и марки стекла подложки.

Контроль качества токопроводящей пленки заключается в проверке сопротивления, светопропускания и отражения.

К достоинствам способа относят простоту установки и несложность технологического процесса, а также получение высоких оптических характеристик и достаточной механической прочности покрытий.

Недостатки способа: невозможно наносить покрытия на детали, не допускающие нагрева; сложность нанесения равномерных покрытий на неплоские поверхности; малая термостойкость — до 600°С.

Способ нанесения покрытий испарением веществ в вакууме. Это наиболее распространенный способ нанесения покрытий; заключается в том, что вещества термически испаряются в высоком вакууме и конденсируются на поверхности подложек. Вакуум необходим, чтобы частицы пара вещества не претерпевали соударений с молекулами остаточных газов при движении к подложке и не изменяли прямолинейности траектории своего движения. В вакуумной камере высотой 500—700 мм создается давление не выше $(1,33-0,66) \times 10^{-3}$ Па. Вакуумная установка состоит из камеры, в которой наносятся покрытия, откачивающей системы, блоков аппаратуры накала испарителей и обработки подложек тлеющим разрядом, а также из системы контроля толщины слоев. Внутри стеклянного или металлического колпака (рис. 15.4) расположен держатель подложек 1, испарители 4, электрод 2 системы обработки разрядом, экран 3, фотометрическое устройство для контроля пропускания или отражения света. Колпак 13 установлен на фундаментной стеклянной или металлической плите, к которой

с другой стороны подведена откачная система. Откачная система состоит из форвакуумного насоса (насоса предварительного вакуума) 8 и баллона 7, клапанов 5, 10, 11 и высоковакуумного диффузионного насоса 6, термopарных 9 и манометрических 12 ламп для измерения вакуума. Технический процесс нанесения покрытий состоит из нескольких операций.

Подготовка подложек заключается в промывке и обезжиривании их этиловым спиртом.

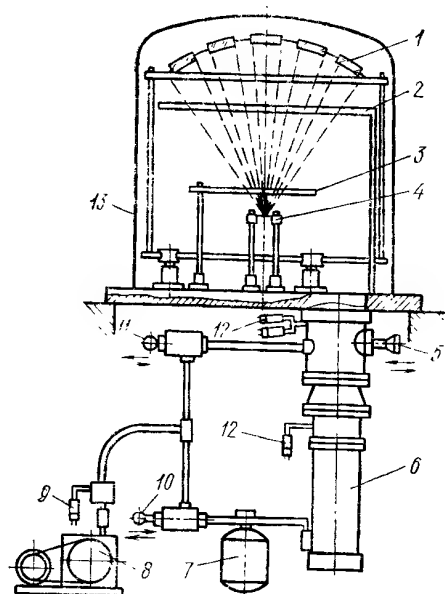


Рис. 15.4. Вакуумная установка

Подготовка вакуумной камеры включает промывку и сушку колпака и технологической оснастки, загрузку испарителей веществом пленок, размещение подложек в оправах оснастки.

Откачивание воздуха из вакуумной камеры до давления 1,33 Па выполняют форвакуумным насосом 8.

Обработку подложек тлеющим разрядом в зависимости от их материала и размеров колпака проводят 3—10 мин при напряжении на электродах 1,5—2,5 кВ и токе 100—200 мА.

Откачивание воздуха из вакуумной камеры и создание высокого вакуума, соответствующего

давлениям $(1,33—0,66) \times 10^{-3}$ Па, выполняют высоковакуумным насосом 6, не отключая форвакуумного насоса 8.

Испарение вещества происходит под колпаком после откачки воздуха. Предварительно испаряют внешний загрязненный слой вещества при экранировании подложек заслонкой 3. Затем отводят заслонку и испаряемое вещество попадает на подложку. Скорость испарения зависит от материала испаряемого вещества и толщины покрытия. Толщину покрытия или связанные с ней коэффициенты пропускания и отражения контролируют с помощью фотометрического устройства.

Многослойные покрытия наносят поочередно, испаряя вещества из отдельных испарителей.

Разгерметизация колпака происходит с помощью нагревателя при закрытых клапанах 5 и 11. Высоковакуумный насос 6 выключается, низковакуумный насос 8 работает при открытом клапане 10 до полного остывания высоковакуумного насоса 6.

Контроль покрытий ведут визуально, фото- и спектрометрически на соответствие требованиям чертежа и технических условий. Металлические слои проверяют по контрольным образцам на сцепление слоя с подложкой. В чертежах технологический процесс изготовления зеркального покрытия испарением алюминия условно обозначают так: зеркальн. II.

Достоинства способа: возможность получения всех видов покрытий; большая скорость нанесения покрытий, что способствует изготовлению однородных по составу покрытий; контроль характеристик пленок в процессе изготовления. Недостатки способа: невысокая механическая прочность, недостаточная влагостойкость и малая химическая стойкость покрытий.

Способ нанесения покрытий катодным распылением веществ. Способ основан на явлении медленного разрушения (распыления) материала катода под действием ударяющихся о него атомов или молекул инертного газа, ионизированных электрическим разрядом между электродами при давлении около 0,13 Па. Свободные атомы или молекулы вещества катода покидают его поверхность и осаждаются на противостоящих катоду поверхностях.

При этом способе применяют установки, аналогичные установкам для нанесения покрытий термическим испарением веществ в высоком вакууме, но колпак имеет относительно меньшую высоту, так как расстояние между электродами невелико. Скорость процесса распыления зависит от вещества катода, давления и природы газа, параметров разряда. Оптимальное давление газа подбирают экспериментально и поддерживают постоянным в течение всего времени напыления. Для получения покрытий равномерной толщины применяют катод, форма которого соответствует форме поверхности подложки, а размеры на 25% больше размеров детали.

Способ применим для нанесения всех видов покрытий, но наиболее часто его используют для образования светоделительных и зеркальных слоев из тугоплавких и благородных металлов. Технологический процесс близок к процессу нанесения покрытий термическим испарением веществ в вакууме и состоит из следующих операций: подготовки подложек; подготовки вакуумной камеры с размещением подложек и катодов и юстировки прибора контроля; откачивания воздуха из вакуумной камеры до давления (1,33—0,13) Па; изготовления покрытия распылением катода при напряжениях 1,5—2,5 кВ; разгерметизации колпака; контроля покрытий.

Покрытия, полученные этим способом, устойчивы к влажной атмосфере, органическим растворителям и соответствуют 0 и I группам механической прочности. Прочность металлических покрытий определяется природой вещества слоя. В чертежах технологический процесс изготовления светоделительного покрытия катодным распылением золота условно обозначают так: светоделит. 2К.

Достоинства способа: возможность получения всех видов покрытий, а также прочных пленок, в том числе и из тугоплав-

ких веществ; минимальный расход материалов, что особенно важно при изготовлении покрытий из драгоценных металлов — золота, платины. Недостатки способа: контроль покрытий в процессе изготовления слоев сложен; ограничение в размерах подложки — до 100—150 мм из-за неравномерности толщины слоев и отсутствия больших катодов; длительность процесса, особенно при нанесении многослойных покрытий.

Электронно-лучевое испарение веществ. Этот способ нанесения покрытий является разновидностью способа термического испарения веществ в вакууме. Электронно-лучевое испарение отличается от других видов термического испарения использованием электронно-лучевых испарителей, позволяющих концентрировать энергию нагрева на небольшой поверхности испаряемого вещества. Испаряемое вещество в этой зоне нагревается и испаряется в результате бомбардировки сфокусированным пучком ускоренных электронов, испускаемых нагретым катодом.

На рис. 15.5 показана схема электронно-лучевого испарителя

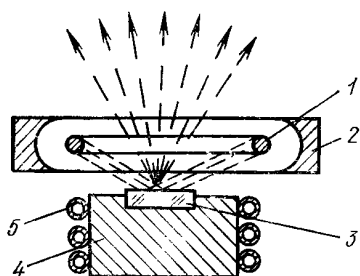


Рис. 15.5. Электронно-лучевой испаритель кольцевого типа

кольцевого типа. Нагретый катод 1 в виде кольца из вольфрамовой проволоки испускает электроны, устремляющиеся к аноду 4, которым служит массивный медный тигель с образцом 3, сделанным из испаряемого вещества. Электронный пучок фокусируется в небольшое пятно на поверхности образца 3 с помощью управляющего электрода 2, находящегося под потенциалом, близким к потенциалу катода 1. Тигель с образцом испаряемого

вещества (анод испарителя) при работе нагревается и требует принудительного охлаждения водопроводной водой. Система охлаждения показана на схеме позицией 5. Конструкция управляющего электрода 2 выполнена так, чтобы его элементы защищали катод 1 от воздействия потока ионов, образующихся в результате воздействия электронного пучка. Такая конструкция позволяет несколько снизить загрязнения слоев покрытий окислами металлов, входящих в состав конструкции.

Уменьшению загрязнений слоев покрытий способствует использование электронно-лучевых испарителей с магнитным отклонением и фокусировкой электронного пучка. Схема такого испарителя показана на рис. 15.6. Источник электронов — электронный прожектор 1 — испускает электронный пучок, который отклоняется и фокусируется системой магнитов 2 и 3 на поверхности образца 4 испаряемого вещества. Такой способ управления электронным пучком позволяет поочередно испарять различные вещества из двух тиглей изменением направления магнитного поля.

Существуют и используют электронно-лучевые испарители с

магнитным отклонением пучков, работающие в автоматическом режиме. Они позволяют перемещать электронный пучок по поверхности образца испаряемого вещества для равномерного испарения материала по всей поверхности; обеспечивать быстрое перемещение электронного пучка на образец другого испаряемого вещества, находящегося в другом тигле. В чертежах технологический процесс электронно-лучевого испарения, например, монооксида кремния условно обозначают так: 3ИЭ.

Достоинствами этого вида термического испарения являются возможность использования устройств автоматического управления электронно-лучевым испарителем и всего процесса нанесения покрытий, а также возможность испарения тугоплавких окислов материалов, минимальный нагрев прилежащей к испарителю зоны пространства вакуумной камеры и возможность изготовления многослойных покрытий. К недостатку относят получение различных оптических свойств покрытий, изготовленных за одну откачку вакуумной камеры. Это различие вызвано неопределенностью пространственно-временных эмиссионных характеристик испарителя из-за образования кратеров на поверхности образцов испаряемых веществ.

Способ изготовления покрытий травлением в растворах кислот. Травление поверхности оптической детали водными растворами кислот является одним из простейших химических способов изготовления покрытий. В результате взаимодействия поверхностного слоя стекла с раствором уксусной или азотной кислоты образуется пленка кремнезема с показателем преломления $n_e = 1,44 \div 1,45$. Предпочтение отдают уксусной кислоте как менее токсичной.

Концентрацию раствора кислоты определяют экспериментально в зависимости от химической стойкости стекла, т. е. от материала детали. Экспериментально определяют и время травления детали раствором данной концентрации.

Необходимую толщину пленки, при которой падающий световой пучок интерферирует на прохождение, получают за время обработки от нескольких минут до нескольких часов.

Наибольший эффект травления достигается при оптической толщине слоя пленки кремнезема, равной четверти длины волны падающего светового пучка, и лишь для стекол с показателем преломления $n_e = 1,9 \div 2,0$. Стекла с другими показателями преломления просветляют лишь частично. Так, кроновые стекла с $n_e = 1,51 \div 1,52$ просветляют травлением со снижением остаточного отражения от одной поверхности вдвое по сравнению с непросветленной поверхностью. Равнотолщинность и скорость образования пленки зависят от чистоты поверхности оптической детали.

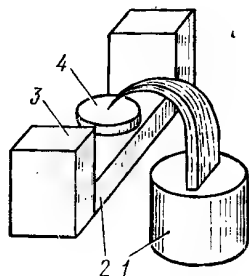


Рис. 15.6. Схема действия ЭЛИ с магнитной фокусировкой и отклонением электронного пучка

Технологический процесс нанесения покрытий состоит из операций подготовки поверхности, непосредственно травления, промывки, сушки и контроля. Подготовка поверхности заключается в ее промывке в растворе щелочи едкого натра. Поверхность травят в водном растворе кислоты, осуществляя контроль толщины образующегося слоя по времени обработки и визуально по цвету окраски в отраженном свете. После достижения заданной толщины слоя деталь промывают и сушат. Осуществляют контроль светопропускания или остаточного отражения света оптической деталью. В чертежах способ нанесения покрытий травлением условно обозначают так: просветл. 63Т. Способ применяют, когда другие способы изготовления покрытий имеют ограничения, например при нанесении покрытий на оптические детали сложной формы, больших размеров. Склеиваемые детали просветляют до склейки.

К достоинству способа относят простоту оборудования, несложность и экономичность технологического процесса, неизменность параметров пленки со временем и под воздействием внешних условий. Просветляющая пленка одновременно является защитой стекла от воздействия влаги, растворителей, кислот. Покрытие имеет самую высокую нулевую группу механической прочности. К недостаткам относят токсичность паров кислот, значительное время обработки химически стойких стекол, ограниченность использования — только для просветления поверхностей оптических деталей из силикатных стекол, малый эффект просветления большинства марок широко используемых стекол.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды покрытий и укажите их характеристики.
2. Как обозначают в чертежах виды и способы нанесения покрытий?
3. Дайте характеристику способа нанесения покрытий испарением веществ в вакууме.
4. Расскажите о способе нанесения покрытий гидролизом спиртовых растворов веществ.
5. Сравните достоинства и недостатки различных способов нанесения покрытий.

У. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

16. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТИПОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

16.1. Изготовление пластин

Изготовление любой оптической детали начинают с выбора заготовки. Для крупносерийного и массового производства заготовкой является прессовка, а для единичного и опытного производства — кусок стекла. Прессовка по форме обычно похожа на деталь (линза, призма, пластина), но имеет припуск на обработку. Прессовки выпускают размером от 8 до 150 мм. Если же необходимо изготовить деталь меньшего размера, то делают кратную прессовку, из которой при дальнейшей обработке получают несколько де-

талей. Куски стекла имеют форму цилиндрических дисков или параллелепипедов любых размеров.

При любом типе производства заготовки последовательно проходят обработку сначала на заготовительном участке, затем на участке шлифования и полирования, а потом на других специальных участках.

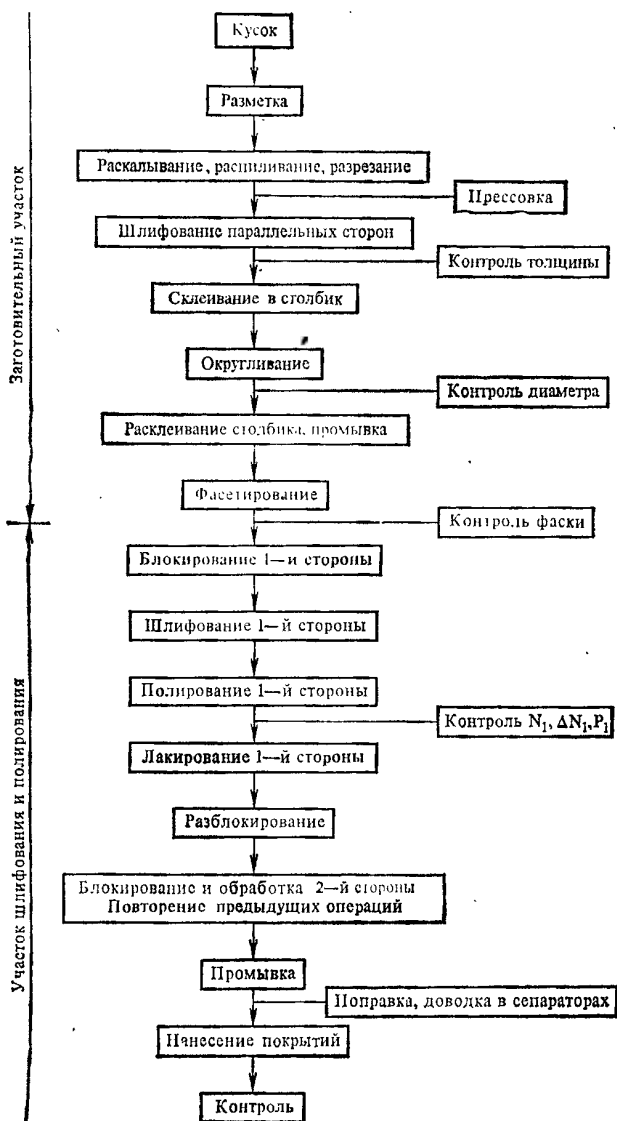


Рис. 16.1. Схема технологического процесса изготовления круглой пластины

На заготовительном участке заготовке придают форму и размеры, наиболее приближающие ее к детали. Здесь удаляют основной слой припуска. В серийном производстве обработку выполняют механизированно алмазным инструментом. В единичном производстве заготовительные операции часто производят вручную свободным абразивом на грибах, чашках и планшайбах.

Изготовление круглых пластин. Схема технологического процесса изготовления круглой пластины средней точности и размеров показана на рис. 16.1. При изготовлении пластины из куска первой операцией является разметка куска. Разметку куска стараются выполнить так, чтобы получить из куска как можно больше деталей. Разметку проводят с помощью восковых или грифельных карандашей или карандашей «стеклограф» и металлической линейки.

При изготовлении круглых пластин (светофильтров, защитных стекол, клиньев) заготовками могут быть листы полированного стекла. В этом случае разметку производят, подкладывая под кусок стекла транспарант — лист бумаги с черными, четкими квадратами, который вычерчивают предварительно до разметки. После разметки куска стекла производят его разделение по нанесенным карандашом линиям. В зависимости от толщины куска стекла эту операцию выполняют распиливанием, раскалыванием или разрезанием. Разрезанные и распиленные заготовки наклеивают на планшайбу воском или парафином и шлифуют, удаляя основной слой припуска. Эту операцию называют также грубым шлифованием или обдиркой. Отшлифовав одну сторону, заготовки отклеивают с приспособления, переключают и шлифуют вторую сторону. Чаще всего эти операции производят на шлифовально-обдирочных станках типа ШО-1000, 1500. После шлифования заготовки с двух сторон производят контроль ее толщины. Контроль выполняют штангенциркулем с погрешностью до 0,1 мм.

При массовом производстве, когда заготовкой является прессовка, распиливание и разрезание не выполняют, а технологический процесс сразу начинают с операции шлифования параллельных сторон. После шлифования параллельных сторон и контроля толщины пластины производят склеивание заготовок в столбик. Заготовки диаметром до 10 мм склеивают наклеечными восками, а диаметром, меньшим 10 мм, — шеллаком. По бокам столбика часто приклеивают дополнительные стекла, назначение которых предохранять крайние заготовки в столбике от выколов при его шлифовании. Округливание столбиков производят на круглошлифовальных станках, столбики диаметром менее 10 мм — на бесцентрово-шлифовальных станках БШС-10.

Если заготовкой служит прессовка, имеющая круглую форму с размерами не менее 40—50 мм и отшлифованные параллельные стороны, то склеивание в столбик перед округлением не производят. В этом случае заготовки укладывают параллельными сторонами друг к другу на металлический лоток, имеющий форму угольника, и в таком виде зажимают в центрах круглошлифовального

станка через металлические и войлочные прокладки. Такой способ сборки столбика намного производительнее, так как время на склеивание, охлаждение и расклеивание столбика и последующую промывку заготовок от воска не затрачивается. После округливания, не снимая столбик со станка, производят контроль его диаметра. Контроль выполняют с помощью скобы или микрометра.

После округливания, если детали были склеены в столбик, производят расклеивание столбика и промывку заготовок от клеящего состава. Расклеивание осуществляют нагреванием на электроплите, а промывку — бензином, ацетоном или в горячих щелочных ваннах.

Последней операцией, выполняемой на заготовительном участке, является фасетирование. На круглых пластинах наносят двусторонние технологические фаски в чашках. Фаски наносят такими, чтобы после шлифования и полирования параллельных поверхностей пластины их размер стал бы равным размеру, предусмотренному чертежом. Контроль фасок осуществляют линейкой или с помощью специального прибора — фаскомера.

После заготовительного участка пластины поступают на участок шлифования и полирования. Обработку на этом участке начинают с блокирования пластин. Блокирование осуществляет рабочий-оптик в соответствии с расчетом блока, который предварительно выполнен технологом цеха. Для определения числа и расположения пластин на блоке при любых способах блокирования производят расчет (табл. 16.1) наклеечных приспособлений —

16.1. Результаты расчетов наклеечных приспособлений для D_n/d_3

D_n/d_3	Число зон	Число пластин в зонах $k_1+k_2+k_3+\dots+k_i$	Количество пластин на блоке, Σk	m	n
1	1	1	1	1,0	—
2,2	1	3	3	2,2	—
2,48	1	4	4	2,48	—
3,1	2	1+6	7	3	2
4,2	2	3+9	12	4,2	—
4,58	2	4+10	14	4,48	2
5,20	3	1+6+12	19	5	4
6,30	3	3+9+15	27	6,2	2
6,68	3	4+10+17	31	6,48	4
7,30	4	1+6+12+18	37	7	6
8,40	4	3+9+15+22	49	8,2	4
8,78	4	4+10+17+23	54	8,48	6

планшайб. Расчет ведут для трех различных случаев расположения пластин (рис. 16.2) в центре блока: одной (а), трех (б) и четырех (в). Размер промежутков f между зонами и пластинами в зонах выбирают от 0,5 до 3 мм в зависимости от диаметра пластин. Диаметр планшайбы определяют из формулы $D_n = md_3 + nf$, где m и n — безразмерные коэффициенты.

Если число зон на блоке меньше 5—6, то наклеивание пластин начинают с центральной зоны, помещая в ней одну, три или четыре заготовки. Если же зон много, то заготовки наклеивают, начиная с крайней зоны.

В зависимости от значения допустимой неплоскостности по N и ΔN , соотношения толщины t и диаметра d_3 пластины применяют несколько способов блокирования. При $t/d_3 > 1/6$ и $N > 5$ пластины

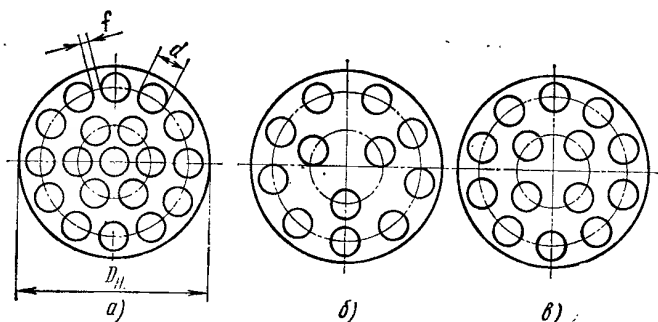


Рис. 16.2. Схемы расположения заготовок на блоке

крепят эластично, нанося смолу или воск по всей поверхности пластины. При $1/15 < t/d_3 < 1/6$ и $5 > N > 0,5$ блокирование осуществляют на точках — смоляных подушечках. При $t/d_3 < 1/15$ и $N < 1$ применяют наиболее точный метод крепления — оптический контакт.

Блоки шлифуют на шлифовально-полировальных станках типа ШП, начиная свободным абразивом М28 и заканчивая абразивом не мельче М7. Обработку ведут в несколько переходов. Для среднего и мелкого шлифования часто применяют один шлифовальный. При шлифовании выдерживают толщину и клиновидность пластин. Клиновидность определяют как разнотолщинность пластин по краю. Обычно ее величина не более допуска на толщину пластины. Если клиновидность превышает допустимую величину, то ее устраняют, усиливая шлифование толстого края блока дополнительным давлением. Пластины с дефектами по классам чистоты I—II и значением $N > 10$, являющиеся подложками для нанесения сеток и шкал, полируют суконными полировальниками.

Шлифованные плоские поверхности контролируют по дефектам чистоты и оптической притирочной линейкой на неплоскостность, а полированные — пробными стеклами или на интерферометре, определяя N_1 и ΔN_1 .

Отполированные поверхности пластин после контроля лакируют и разблокировывают. Операция лакирования заключается в нанесении на полированную поверхность пластин, еще не снятых с блока, слоя нитроэмали. Нитроэмаль наносят кистью. Нитроэмаль должна быть любого темного цвета для того, чтобы при контроле другой стороны пластины и наложении пробного стекла лучше была видна интерференционная картина.

После окончания обработки первой стороны пластины разблокируют и ведут в той же последовательности обработку второй стороны, контролируя при этом N_2 , ΔN_2 , P_2 .

После завершения всех операций на участке шлифования и полирования пластины проходят промывку. Промывку от нитроэмали осуществляют ацетоном в специальных ваннах при интенсивной направленной вентиляции. Для убыстрения процесса промывки пластины замачивают на несколько часов в ацетоновой ванне или применяют ультразвуковые промывочные ванны. Для серийного и массового производства применяют автоматические и полуавтоматические промывочные машины. Промытые пластины контролируют и, если они имеют дефекты оптической чистоты, выходящие за требования соответствующего класса, передают на переполіровку, а иногда и перешлифовку поверхностей.

Для деталей, имеющих высокие требования к плоскостности полированной поверхности $N \leq 1$ и $\Delta N \leq 0,1$, применяют доводку в сепараторах. Сепаратор представляет собой диск (рис. 16.3, а) из стекла ЛК5, ЛК7 или К8 диаметром $D = 150 \div 450$ мм и толщиной $t = 30 \div 60$ мм. Рабочая поверхность сепаратора выполнена с точностью $N \leq 1 \div 4$ и $\Delta N = 0,1 \div 0,4$. В диске имеется несколько отверстий, каждое из которых на 5—10% больше, чем диаметр обрабатываемых пластин. Отверстия в диске для деталей расположены на разных угловых расстояниях друг от друга ($\varphi_1 \neq \varphi_2 \neq \varphi_3$) и на различных расстояниях от центра ($R_1 \neq R_2 \neq R_3$). Сепаратор 2 устанавливают на полировальник 1 шлифовально-полировального станка (рис. 16.3, б). В отверстия сепаратора укладывают пластины 3, предварительно отполированные с $N = 2$ и $\Delta N = 0,3$. Чтобы на торцах пластин не появились выколки при доводке, стенки отверстий сепаратора обклеивают резиной 4. На каждую пластину помещают груз 5. Если необходимо устранить клиновидность пластины при ее доводке в сепараторе, то груз 5 смещают от центра пластин. Пластины кроме движений, совершаемых вместе с сепаратором, вращаются вокруг своей оси в отверстиях сепаратора. Процесс доводки пластин заключается в полировании с помощью обычных технологических приемов.

При движении сепаратора по полировальнику он своей рабочей

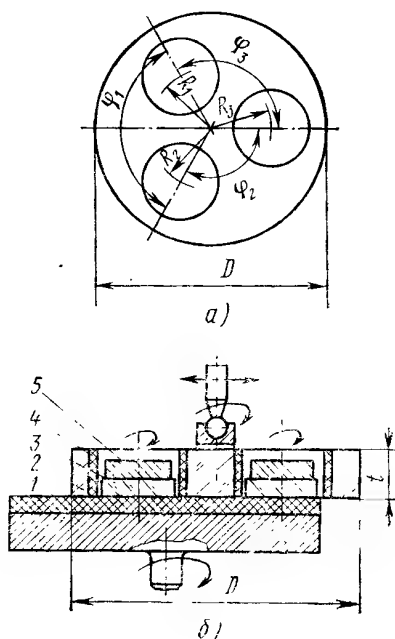


Рис. 16.3. Доводка точных пластин в сепараторах

поверхностью формирует полировочную смолу, разравнивая ее и передавая ей точную плоскую форму поверхности, которую имеет сам. Пластины, перемещаясь по поверхности полировальника, принимают эту форму. Процесс доводки происходит медленно, так как на каждой из пластин лежит груз небольшой массы, а режимы доводки на полировально-доводочных станках не интенсивные. Подачу полировальной суспензии в зону обработки производят вручную.

При длительной работе поверхность сепаратора теряет точность, срабатываясь на бугор или яму, поэтому его правят, т. е. восстанавливают первоначальную точность переполировыванием. Правку сепаратора производят 1—2 раза в месяц по необходимости.

После участка шлифования и полирования пластины передают на участок покрытий и другие участки. Затем, пройдя контроль ОТК цеха, где контролируют все параметры пластины, предусмотренные чертежом, детали поступают на склад готовой продукции цеха, откуда их передают в сборочные цехи завода.

Изготовление клиньев. Заготовкой для клина служит плоскопараллельная пластина, заранее обработанная (округленная и полированная с одной стороны). Заготовки 3 приклеивают смолой 6 к поверхности металлических сухарей 2, прикрепленных штифтами 4 к планшайбе 5 (рис. 16.4, а). Сухари имеют угол θ , выполненный

с большей точностью, чем требуемый угол у клина. В таком виде собранный блок с заготовками обрабатывают — шлифуют свободным абразивом на станке ШП. При шлифовании выдерживают высоту H , измеряя ее микрометром по бокам блока.

Для блокирования клиньев диаметром менее 40 мм применяют приспособление 1 квадратной формы, имеющее накладку 2 с продольными пазами, которые предварительно получены фрезерованием или шлифованием.

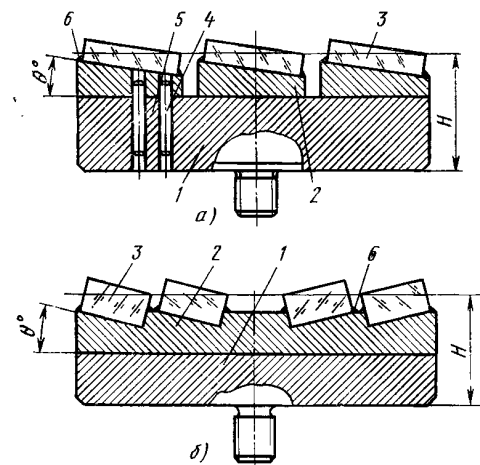


Рис. 16.4. Изготовление клина

ванием. В пазы приклеивают заготовки 3 с помощью смолы 6 (рис. 16.4, б).

При изготовлении точных клиньев плоскостность полированных поверхностей должна выдерживаться с погрешностью $N < 1$. Контроль углов у полированных клиньев проводят на коллиматорных и автоколлиматорных приборах или на гониометрах с погрешностью до 1".

Если пластины или клинья имеют прямоугольную форму, то у них предварительно обрабатывают боковые стороны, выдерживая при этом прямые углы и пирамидальность. Обработку боковых сторон производят на заготовительном участке вместо операции округливания в то время, когда заготовки склеены в столбик. После обработки и расклеивания столбика производят фасетирование, называемое также гранением. Фаски на ребрах и трехгранных углах наносят с помощью алмазной планшайбы вручную на обдирочном станке.

16.2. Изготовление линз

В зависимости от серийности выпуска продукции на заводе заготовками для производства линз служат прессовки или куски стекла. Прессовки применяют в массовом и серийном производстве в том случае, если линзы выпускают партиями более 500—1000 шт. Куски стекла используют при единичном производстве.

В зависимости от номинальных размеров, точности, выпускаемой партии, оборудования, имеющегося на заводе, и других условий выбирают технологический процесс изготовления конкретной линзы. Примерная схема технологического процесса изготовления в блоках линз средней точности и размеров представлена на рис. 16.5.

Если заготовками для линз являются куски стекла, то они проходят на заготовительном участке ряд операций для приближения с учетом припуска по размерам и формам к заданной детали. К таким операциям относят разметку, распиливание, шлифование сторон, склеивание в столбик, округливание, расклеивание и промывку. Если линзы изготовляют из прессовок, то эти операции не выполняют (рис. 16.5).

Заготовки линз обрабатывают поштучно или блоками. Если диаметр линзы d не превышает 80 мм, а стрелка прогиба сферической поверхности составляет не более $0,5d$, то в серийном производстве такие линзы шлифуют и полируют блоками.

Расчет блоков. Блокирование линз — это вспомогательная операция, которая заключается в соединении группы одинаковых линз на одном приспособлении для дальнейшей их совместной обработки. Блокирование применяют для повышения производительности труда, а также повышения точности обработки каждой линзы.

Прежде чем произвести блокирование, рассчитывают блок. Расчет блока заключается в определении числа заготовок линз в зонах и всего на блоке, а также основных размеров блока. Исходными данными для расчета сферического блока являются радиус R обрабатываемой поверхности линзы, диаметр D_6 и высота H_6 блока, диаметр линзы d и расстояние между ними f , предварительно выбранные исходя из условий обработки и типоразмера станка (рис. 16.6). В большинстве случаев высота блоков ограничивается размером $H_6 = 0,85R_6$, чтобы уменьшить неравномерность обработки краевых и центральных зон. При значениях радиуса $R_6 \leq 70$ мм применяют полусферические блоки с $H_6 = R_6$.

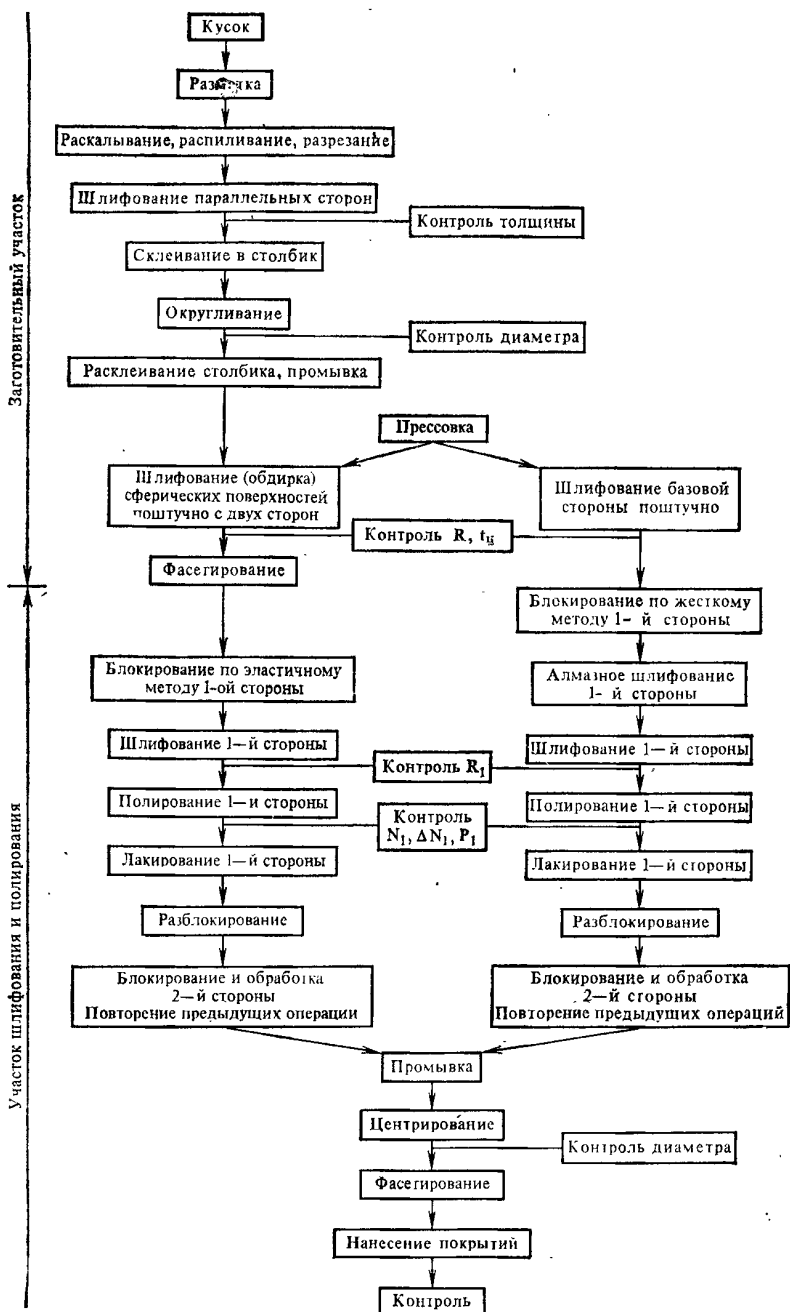


Рис. 16.5. Схема технологического процесса изготовления линз средней точности

Заготовки на блоке размещают, начиная от его центра, а затем располагают концентрическими зонами. Число заготовок в первой центральной зоне определяет угловые размеры последующих зон блока. Для равномерного заполнения поверхности блока заготовками и лучшего формообразования их оптических поверхностей в первой зоне помещают одну, три или четыре заготовки так же, как и для пластин (см. рис. 16.2).

Расчет блока проводят для этих трех случаев и выбирают вариант, при котором размещается наибольшее число линз. Блоки рассчитывают тригонометрически, графически или по номограммам.

Перед блокированием все заготовки линз обязательно проходят операцию шлифования сферических поверхностей. Если заготовкой линзы является прессовка, которую будут блокировать жестко, то у такой линзы шлифуют только одну базовую сферическую поверхность. Этой поверхностью линзу приклеивают к наклеечному блоку. Шлифование сферической поверхности производят на сферошлифовальных станках типа «Алмаз-70» алмазным трубчатым инструментом поштучно с креплением заготовки в цанге.

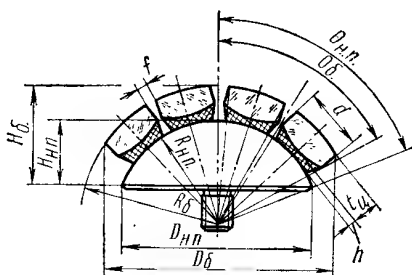


Рис. 16.6. Расчет блока линз

Если заготовки в дальнейшем будут блокировать эластично, то они проходят двустороннее шлифование сферической поверхности на станках типа «Алмаз-70» с последующим контролем толщины заготовки по центру $t_{\text{ц}}$ и радиусов ее сферических поверхностей R . Толщину $t_{\text{ц}}$ измеряют индикатором или микрометром, а радиус — с помощью притирочного инструмента. Иногда после этого на линзы наносят технологические фаски.

Блокирование. Блокирование линз выполняют эластично или жестко. Корпус наклеечного приспособления изготавливают из чугуна СЧ 12—28, стали 20 и сплава АЛ2 при $D_{\text{б}} > 50$ мм.

Эластичное блокирование применяют для линз с размерами $t_{\text{ц}}/d \geq 1/6$, с значениями $N \leq 1$ и допуском на толщину до 0,01 мм. При блокировании заготовки приклеивают толстым слоем смолы на корпус наклеечного приспособления, имеющего форму гриба или чашки. Радиус наклеечного приспособления для блокирования выбирают из соотношения $R_{\text{н.п}} = R_{\text{б}} - (h + t_{\text{ц}})$, где $t_{\text{ц}}$ и h — толщина соответственно по центру заготовки и смоляной подушки (см. рис. 16.6). Высота наклеечного приспособления $H_{\text{н.п}} = R_{\text{н.п}}(1 - \cos \theta_{\text{н.п}})$. Перед блокированием изготавливают смоляные подушки в виде усеченного конуса и приклеивают их к заготовкам.

Эластичное блокирование — простой и универсальный метод; применяют при обработке линз с погрешностью до одного кольца и допуском на толщину 0,01 мм. Однако этот метод обладает сле-

дующими недостатками: во-первых, он не применим при обработке тонких линз ($t_n/d \leq 1/6$), так как большая масса смолы на смоляных подушках сильно деформирует оптическую деталь при наклеивании; во-вторых, необходимо выполнять предварительное окончное двустороннее шлифование линз.

Тонкие линзы, изготавливаемые серийно, блокируют жестко. При жестком блокировании для каждого типоразмера линз необходимо специальное наклеечное приспособление, поэтому этот метод применяют в серийном и крупносерийном производстве. Наклеечные приспособления изготовляют из алюминиевых сплавов или термостойкой пластмассы и имеют точно обработанные площадки для крепления линз.

Вместе с прессовками на наклеечное приспособление в центре и на краю блока наклеивают «маяки». «Маяками» называют линзы, у которых на поверхности, подлежащей обработке, нанесены предварительно алмазным инструментом лунки диаметром 3—5 мм, необходимые для контроля толщины линз во время обработки блока. Глубина лунок выдержана с погрешностью до 0,05 мм и равна толщине удаляемого припуска. При шлифовании блока рабочий визуально следит за состоянием этих лунок. Как только лунка исчезнет, так можно прекращать шлифование. Блоки с заготовками линз после алмазного шлифования поступают на операцию мелкого шлифования свободным абразивом, которую выполняют на шлифовально-полировальных станках типа ШП.

Подготовка инструмента. Подготовка шлифовального инструмента заключается в доводке радиуса кривизны расшлифовыванием рабочих поверхностей грибов и чашек для каждого технологического перехода. Подготавливают весь комплект инструментов по переходам, необходимым для обработки линз, заданного радиуса. Расшлифовку поверхности инструмента производят под пробное стекло или под сферометр.

Расшлифовку под пробное стекло начинают с инструмента, предназначенного для шлифования самым мелким абразивом. Инструмент устанавливают в шпинделе станка ШО или ШП и подгоняют его рабочую поверхность шпательной или абразивным бруском вручную, прижимая их и перемещая от центра вращающегося инструмента к его краю, под шаблон заданного радиуса, после чего блокируют на нем блок линз. Шлифуют блок этим же инструментом, делая последний переход абразивом М7, прополируют и контролируют поверхность линз пробным стеклом. Операцию подгонки инструмента повторяют до получения необходимых значений N и ΔN . После изготовления шлифовальника для предшествующего абразива производят подгонку шлифовальника для предшествующего абразива. Изготовленный первоначально инструмент используют как притирочный для контроля на заготовительном участке. Блоки с радиусами кривизны, большими 70 мм, должны притираться к инструменту на 1/4 часть своего диаметра от края, а с радиусами кривизны менее 70 мм — на 1/6—1/7 диаметра. Таким образом налаживают весь комплект шлифовального инструмента.

Расшлифовка под сферометр сводится к подгонке и расшлифовыванию инструмента по переходам и относительном контроле их кривизны с помощью сферометра, нулевое показание которого установлено по эталону. В качестве эталонов для сферометров используют пробные стекла ближайшего радиуса.

Шлифование. Одиночные линзы и блоки шлифуют на станках типа ШП в несколько переходов в зависимости от размера деталей и блоков. Мелкое шлифование, как правило, производят в два перехода — абразивами М20 и М10. Для одиночных деталей и блоков, близких к полусфере, — в три перехода М28, М14, М7.

Абразивную суспензию для этих порошков составляют из одной части абразива и трех частей воды. Шлифование ведут до полного исчезновения следов предыдущей обработки с поверхности линз. Режим работы станка при шлифовании выбирают в зависимости от диаметра блока, зернистости используемого абразива, метода подачи суспензии и других технологических факторов. Удельное давление выбирают около $0,30\text{--}1\text{ Н/см}^2$. Окружная скорость нижнего звена от 0,6 для больших блоков, до 1 м/с для малых блоков.

Полирование. Сферические поверхности полируют на шлифовально-полировальных станках методом пробных проходов. Полирование проводят таким образом, чтобы обеспечить все требования, предъявляемые к оптической детали — N , ΔN , P .

Режимы и условия обработки выбирают в зависимости от заданной точности детали. Для деталей пониженной точности применяют интенсивные режимы и инструменты с подложкой из волокнистых материалов — сукна, войлока, фетра. При этом окружная скорость достигает 3 м/с, а удельное давление — $2,50\text{ Н/см}^2$. При полировании смоляным полировальником деталей средней точности применяют окружные скорости $0,5\text{--}1\text{ м/с}$ и давление $0,50\text{--}1,00\text{ Н/см}^2$; для деталей высокой точности — $0,2\text{--}0,3\text{ м/с}$ и $0,20\text{--}0,50\text{ Н/см}^2$.

Интенсивность съема стекла и формообразование заданной оптической поверхности регулируют настройкой станка и подрезкой смолы полировальника, при этом значения технологических факторов (температуры, вязкости смолы, способа подачи полированной суспензии и т. д.) стараются стабилизировать.

После полирования первой стороны линз их лакируют на блоке, разблокировывают и повторяют все операции технологического процесса для обработки второй стороны. После окончательного разблокировывания и промывки линзы поступают на операцию центрирования.

Центрирование линз. Центрирование линз — это операция по совмещению геометрической и оптической осей линзы. Децентричность S линзы возникает как результат накопления погрешностей на всех предыдущих механических операциях линзы, кончая ее полированием. Операцию центрирования линз выполняют в два перехода: совмещением оптической оси линзы с осью вращения шпинделя станка; шлифованием цилиндрической поверхности линзы до диаметра заданного размера, при котором геометрическая ось

линзы, т. е. ось ее симметрии, совмещается с осью вращения шпинделя и, следовательно, с оптической осью линзы.

Точность центрирования зависит от способа установки и крепления линзы и точности шлифования ее цилиндрической поверхности. При центрировании линзы устанавливают тремя способами: по блику; в самоцентрирующем патроне; по прибору.

Установку линзы по блику применяют только в единичном производстве, когда надо центрировать линзу с погрешностью 0,04—0,1 мм. Установку производят приклеиванием центрируемой линзы 3 смолой 2 к трубчатому латунному патрону 1, закрепленному в шпинделе центрировочного станка (рис. 16.7). Пока

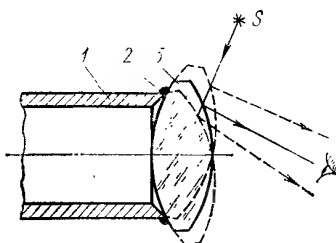


Рис. 16.7. Схема центрирования по блику

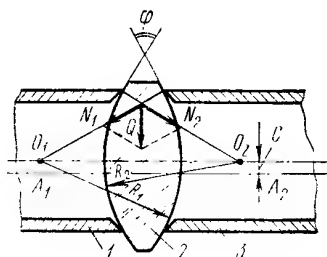


Рис. 16.8. Схема центрирования сжатием

смола не застыла, линзу перемещают по торцу патрона (на рис. 16.7 показано пунктиром), совмещая ее оптическую ось с осью вращения шпинделя патрона 1. Контроль за правильностью установки линзы осуществляют наблюдением невооруженным глазом за положением блика от источника света S на поверхности линзы. При повороте шпинделя вручную блик должен не смещаться. Точность установки увеличивается, если контроль биения проводить с помощью автоколлимационной трубки.

Установку линз в самоцентрирующих патронах осуществляют непосредственно на специальных центрировочных станках типа ЦС, работающих с алмазным шлифовальным кругом в полуавтоматическом цикле. Центрируемую линзу 2 зажимают в шпинделях станка: между левым ведущим 1 и правым 3, который имеет осевое перемещение и с помощью пружины прижимает линзу к левому шпинделю (рис. 16.8). На шпинделях закреплены стальные закаленные цилиндрические патроны, имеющие тонкие полированные рабочие кромки. В начальном положении оптическая ось линзы O_1O_2 , линия, соединяющая центры кривизны сферических поверхностей, может быть смещенной относительно геометрической оси линзы A_1A_2 . Однако при зажиме линзы между шпинделями на линзу будет действовать сила Q , сдвигающая ее к оси вращения шпинделей до тех пор, пока линза не коснется всей кольцевой поверхности патронов. Это произойдет автоматически в момент совмещения оптической оси линзы с осью шпинделей. Величина сдвигающей силы Q зависит от кривизны (R_1 и R_2) по-

верхностей линзы, характеризуемой углом ϕ , т. е. углом между касательными к сферическим поверхностям в точке их контакта с патронами. Угол ϕ должен быть не менее 20° .

Погрешность центрирования линз описанным выше методом зависит от соосности и точности изготовления кольцевых кромок патронов, размеров и кривизны сферических поверхностей линзы и составляет 0,005—0,02 мм. Способ прост и высокопроизводителен.

Установка линз по прибору позволяет центрировать линзы с погрешностью до 0,003 мм, при этом необходим набор специальных оправок для различных типоразмеров линз. Схема установки линзы по прибору показана на рис. 16.9. Свет от коллиматора 6 с сеткой 7 проходит через центральное отверстие патрона 4, установленного в коническое отверстие стола 5. На патрон смолой 3 приклеивают линзу 2. Подогревая смолу до размягчения, передвигают линзу по кольцу оправки и добиваются такого ее положения, когда в поле зрения окуляра 1 изображение сетки 7 коллиматора попадет между допускowymi Δ рисками. При вращении оправки в гнезде стола 5 изображение сетки не должно выходить за допуское поле Δ . Охлажденные оправки с линзами снимают с прибора, помещают в тару и передают на центрировочные станки. Конус оправки 4 соответствует посадочному конусу центрировочного станка, что обеспечивает совпадение оптической оси линзы с осью оправки и с осью центрировочного станка.

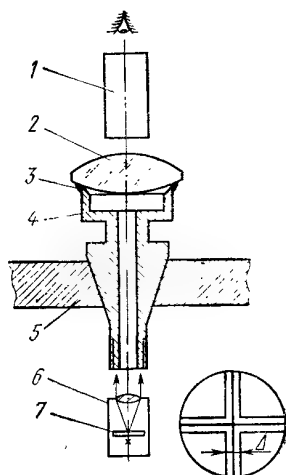


Рис. 16.9. Схема центрирования по прибору

Шлифование цилиндрической поверхности линзы производят после установки центрированной линзы на станке типа ЦС-50. Шлифование осуществляют алмазными кругами АПП. Частота вращения круга 2800 об/мин, линзы — 57—200 об/мин. Обработку ведут на центрировочных станках, настроенных по упорам с автоматическим получением заданного размера. При шлифовании алмазный круг имеет автоматическую поперечную подачу на заготовку и осциллирующее движение вдоль оси вращения линзы. После обработки диаметр линзы контролируют скобой.

Фасетирование линз. Фасетирование линз — это операция нанесения фасок в местах пересечения сферических и цилиндрических поверхностей линзы.

Фаски на линзах по своему назначению разделяют на технологические и конструктивные. Технологические предназначены для предохранения краев линзы от выколов во время обработки линзы на различных технологических операциях. Размеры технологических фасок на чертеже готовой детали

не проставляют. Их указывают только в технологических картах.

Конструктивные фаски обязательно указывают на чертеже линзы. Размеры конструктивных фасок зависят от способа крепления линзы в оправе и диаметра самой линзы. Если линзу крепят в оправе завальцовкой, то размеры фасок выдерживают от $0,1^{+0,2}$ мм для линз диаметром до 6 мм и до $1,0^{+0,5}$ для линз диаметром 50—80 мм. Если линзу в оправе не завальцовывают, то наносят предохранительные фаски для предотвращения выколов. Величина этих фасок меньше и лежит в пределах от $0,1^{+0,1}$ мм для линз диаметром до 6 мм и до $0,4^{+0,5}$ мм для линз диаметром 50—80 мм.

Фаски у линз не наносят со стороны выпуклой поверхности, если отношение диаметра линзы к радиусу кривизны равно или больше 1,5.

Технологические фаски наносят непосредственно после грубого шлифования (обдирки) линз на заготовительном участке (см. рис. 16.5). В процессе дальнейшего шлифования и полирования сферических поверхностей эти фаски уменьшают, а после операции центрирования окончательно срезают.

Все виды конструктивных фасок наносят после центрирования линзы. Фасетирование выполняют несколькими способами. В мелкосерийном производстве — вручную с помощью алмазных фасетировочных чашек на станках типа ШО. Зернистость синтетического алмазного порошка М10. В центре фасетировочной чашки имеется отверстие для подачи воды. Так как сферическая поверхность линзы уже отполирована, то линзу 1 держат с помощью вакуумной присоски и совершают ручные перемещения по поверхности фасетировочной чашки 2 (рис. 16.10). Радиус R сферической поверхности фасетировочной чашки для нанесения фаски под углом φ к боковой поверхности назначают из соотношения $R = d/2\cos\varphi$, где d — диаметр линзы. Если угол фаски $\varphi = 45^\circ$, то $R = 0,7d$.

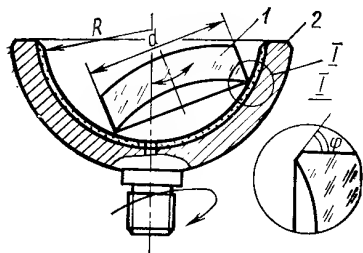


Рис. 16.10. Фасетирование линз

В крупносерийном производстве при снятии фасок размером 0,1—0,3 мм обработку осуществляют на одношпиндельных обдирочных станках типа ОС-100 в специальном цанговом патроне, навинчиваемом на переходник шпинделя станка. Латунная цанга имеет посадочное место под линзу определенного диаметра. Фасетировочную алмазную чашку рабочий держит рукой, прикасается чашкой к линзе и слегка покачивает.

В единичном производстве фасетирование проводят в чугунных чашках свободным абразивом.

В крупносерийном и массовом производстве линз операцию фасетирования совмещают с центрированием, которое выполняют

комбинированным алмазным кругом на центрировочном станке. Режущая кромка алмазного круга имеет цилиндрическую и коническую части, а сам круг для удобства его изготовления и правки делают составным.

После нанесения фасок на линзы наносят заданные чертежом покрытия, чаще всего просветляющие, если нужно, передают на склейку и окончательный цеховой контроль.

16.3. Изготовление призм

Примерная обобщенная схема технологического процесса изготовления наиболее распространенной прямоугольной призмы типа АР-90° из прессовки указана на рис. 16.11. Конкретный технологический процесс зависит от конструкции, заданной точности выполнения углов и граней призм. Для призм сложной конструкции технологические процессы весьма различны и состоят из нескольких десятков операций. Для серийного и массового производства призм заготовкой является прессовка, а для единичного и опытного — кусок стекла. При изготовлении призмы из куска стекла технологический процесс будет включать в себя дополнительно операции разметки, распиливания, подшлифовывания сторон и т. д.

Обработку призм из прессовки начинают с операции шлифования вспомогательных параллельных боковых поверхностей. Чаще всего ее выполняют на шлифовально-обдирочных станках типа ОС-1000, ОС-1500 абразивами № 6 и М28, на станках типа СТШ-400, а также плоскошлифовальных станках типа ЗБ-756 с помощью алмазного инструмента. После шлифования параллельных сторон призм производят контроль с помощью скоб. Эти стороны у призм в дальнейшем не обрабатывают, их принимают за базы.

Для обработки исполнительных поверхностей и подгонки углов призм заготовки склеивают в столбик, длина которого по отношению к высоте призм составляет 6 : 1.

В единичном производстве обрабатывают призмы одного типа-размера столбиками вручную, в серийном — одновременно по несколько штук в металлических приспособлениях.

Блокирование призм в приспособлениях осуществляют приклеиванием или зажимом. Точность выполнения угловых размеров пазов в приспособлении, по которым базируют призмы, должна быть выше заданной точности изготовления углов самих призм. На металлических приспособлениях обрабатывают призмы с погрешностью углов до 5—8'. Для получения призм с погрешностью углов менее 1—2' применяют приспособления из шлифованных стеклянных призматических брусков, углы которых выполнены с погрешностью до 20".

Первую катетную грань столбиков, которая будет являться базовой при креплении их в приспособлении, обычно шлифуют вручную, выдерживая необходимую косину. Косина призм заключается в том, что ребра призм остаются параллельными один

Заготовительный участок

Участок шлифования и полирования

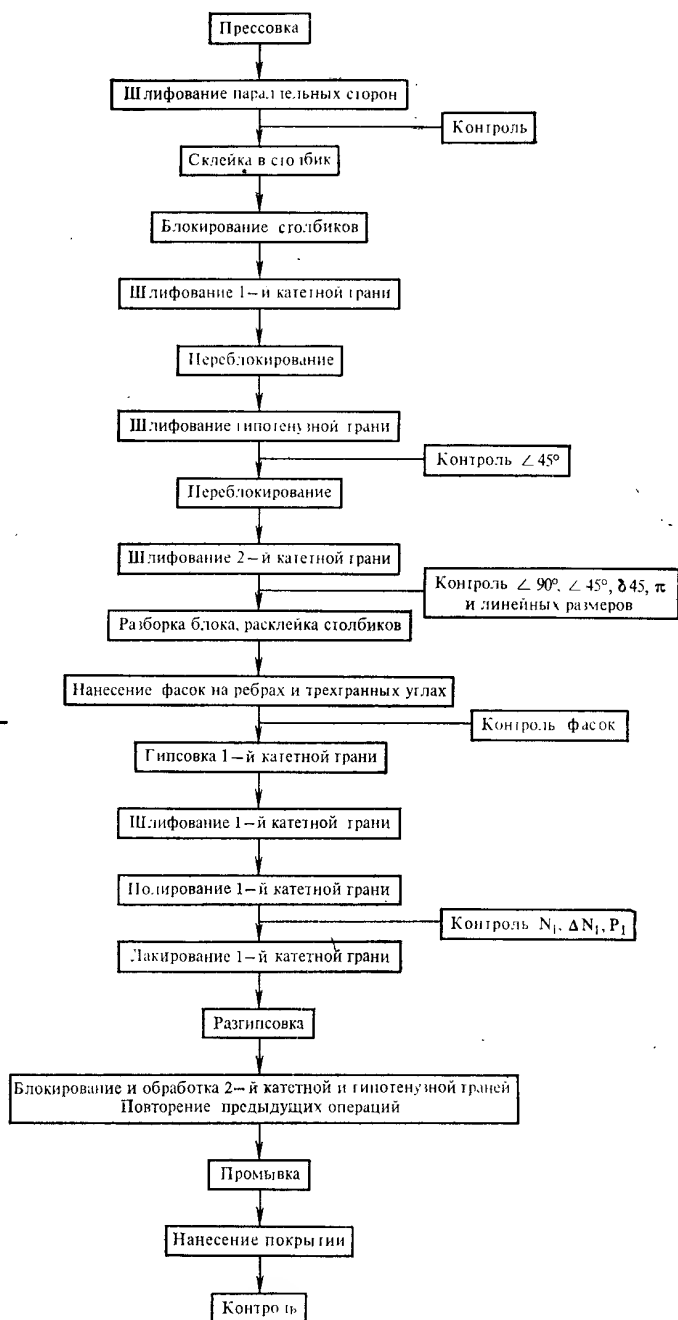


Рис. 16.11. Схема технологического процесса изготовления призмы AP-90° в серийном производстве

другому, но не перпендикулярными ($\epsilon \neq 90^\circ$) боковым поверхностям (рис. 16.12, а). Контроль косины у отдельных столбиков призм выполняют угольником.

После шлифования катетной грани производят переблокировку в другом приспособлении и шлифуют гипотенузную грань, после чего контролируют угол 45° с помощью угольников.

После вторичного переблокирования и шлифования последней катетной грани производят контроль π и разности углов δ_{45} . Пирамидальность π — непараллельность отражающей грани и противоположного ей ребра — оценивают у столбика призм разностью размеров a_1 и a_2 на концах столбика (рис. 16.12, б), $\Delta a = a_1 - a_2$. На блоке пирамидальность определяют как разность размеров H_1 и H_2 (на рисунке не показан), измеренных на двух концах столбика (рис. 16.12, в).

Величину δ_{45} определяют таким же образом, но измерения H_1 и H_2 выполняют для столбиков, находящихся на противоположных сторонах приспособления.

После обработки призм в столбиках наносят фаски на ребрах, контролируют углы 90° , 45° на приборе, расклеивают столбики и промывают призм. Затем наносят фаски на остальных ребрах и трехгранных углах и, если требуется по чертежу, выполняют пазы, закругления, скосы и т. д. Последние обрабатывают алмазными инструментами в приспособлениях с механическим зажимом призм. Нанесение фасок, так называемое гранение призм, осуществляют на алмазной или чугунной планшайбе вручную на шлифовально-обдирочном станке.

На последующих операциях выполняют шлифование и полирование исполнительных поверхностей призм. Для шлифования и полирования призм с погрешностью угловых размеров до $6-8'$ применяют крепление призм в блоке с помощью твердеющего раствора гипса.

Достоинствами гипсовки являются простота способа, возможность обработки различных по габаритным размерам и конфигурации призм в одном приспособлении, а также максимальное использование полезной площадки блока, дающее наибольший экономический эффект при обработке. Недостатки гипсования: длительность процесса, недостаточно высокая точность углов призм после обработки и загрязненность производственного участка отходами гипса. Невысокая точность обработки объясняется деформациями и разворотом призм в застывающем гипсовом растворе.

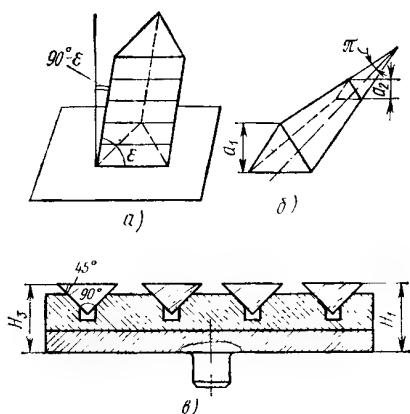


Рис. 16.12. Определение косины и пирамидальности

Перед разборкой блока выполняют контроль полированных поверхностей призм на интерферометре или пробным стеклом, определяя N и ΔN . Контролируют класс чистоты Р, после чего полированные поверхности лакируют, призмы разблокировывают.

Для обработки двух других граней призм последовательно повторяют операции технологического процесса (см. рис. 16.11).

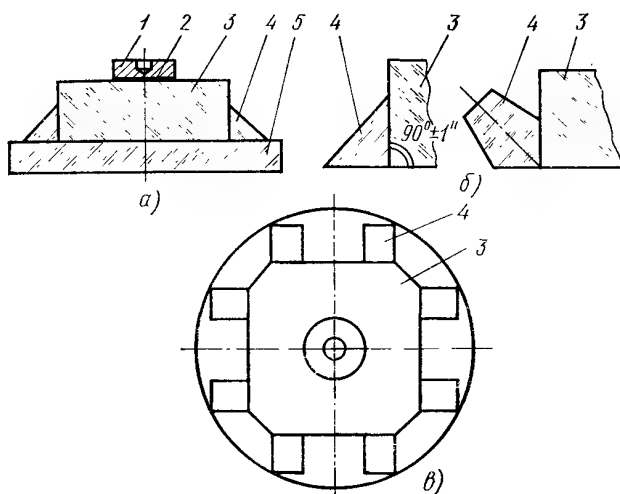


Рис. 16.13. Контактное приспособление

Промывку полированных призм от защитного лака осуществляют аналогично промывке линз.

Для призм с неплоскостью исполнительных поверхностей менее $N=1$ и погрешностью углов до $2''$ применяют доводку призм в сепараторах, которую производят аналогично доводке пластин. Для доводки точных призм (с погрешностью углов $3-5''$) применяют специальные контактные приспособления. Приспособление представляет собой прямоугольную стеклянную пластину 3, углы и поверхности которой обработаны с погрешностью $1-2''$ (рис. 16.13, а, в). В центре пластины эпоксидным клеем 2 приклеен ниппель 1 для передачи движения от шарового пальца поводка станка. Призмы 4 полированной стороной крепят с помощью оптического контакта к боковым поверхностям пластины 3. Чтобы обрабатываемые поверхности призм 4 лежали в одной плоскости с поверхностью контактной пластины 3, сборку всего приспособления производят на точно отполированной круглой пластине 5, которая часто является пробным стеклом. Сначала на нее устанавливают контактную пластину 3. При этом сверху должна быть видна интерференционная картина. Затем на это же пробное стекло 5 кладут призмы той стороной, которую в дальнейшем будут обрабатывать. Видимая интерференционная картина говорит о том, что призма всей своей поверхностью лежит на пробном стекле.

Двигая призму к боковой поверхности контактной пластины 3, добиваются того, чтобы она села на оптический контакт. При этом поверхность призмы, которая лежала на пробном стекле 5, немного приподнимается и интерференционная картина исчезает. После такой сборки контактного приспособления пробное стекло 5 удаляют, собранный блок устанавливают на планшайбу шлифовально-полировального станка и производят обработку (рис. 16.13, б). Все приспособление вместе с призмами шлифуют микропорошком М10, а затем полируют. Углы готовых призм контролируют на гониометре или автоколлиматоре.

Контрольные вопросы

1. Как производят расчет блоков?
2. Расскажите о порядке обработки контактной круглой пластины.
3. Что такое доводка пластин в сепараторах и как она производится?
4. Как изготавливают клинья?
5. Расскажите о порядке обработки линз.
6. Как производят блокирование линз?
7. Что такое центрирование линз? Перечислите методы центрирования линз.
8. Как производят фасетирование линз?
9. Расскажите о порядке обработки прямоугольной призмы.
10. Как устроены контактные приспособления для обработки призм?

17. СОЕДИНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Неразъемное соединение исполнительных поверхностей оптических деталей применяют для изготовления склеенных объективов, блоков призм, клиньев, интерференционных светофильтров, поляризаторов, кювет.

Соединение оптических поверхностей производят посредством склеивания, оптическим контактом, спеканием и другими способами. Способ соединения выбирают, исходя из технических и эксплуатационных требований к оптической системе, габаритных размеров, конфигурации оптических деталей, экономической целесообразности.

Общими требованиями, предъявляемыми к неразъемному соединению оптических деталей, являются сохранение оптических свойств соединяемых деталей, минимальные деформации поверхностей после соединения; обеспечение необходимой механической прочности, термо- и влагостойкости, химической стойкости. Немаловажным требованием является обратимость операций соединения, т. е. возможность разъединения сборочной единицы без повреждения составных элементов.

17.1. Склеивание

При выборе клеящего вещества и проведении технологического процесса склеивания необходимо учитывать, что затверждение клея, сопровождающееся усадкой, не вызывает деформации или искажения склеиваемых деталей, если затвердевание протекает при постоянной или медленно изменяющейся температуре. Склеивание деталей без деформаций возможно проводить также и клеем, от-

вердевающимся при комнатной температуре. Величина деформации склеенных деталей зависит от разности между температурой отвердевания клея и температурой, при которой производят измерения деформаций; градиента температур склеиваемых деталей; разности коэффициентов температурного расширения деталей; профиля и размеров склеиваемых деталей.

Склеиваемые полированные поверхности оптических деталей должны иметь класс чистоты $P \leq V$, допуск на форму поверхности $N \leq 10$ при склеивании бальзамином и $N \leq 2$ при склеивании другими клеями.

Склеивание осуществляют в лабораториях оптических цехов с минимальной запыленностью помещений. На рабочем месте с местным освещением, черным экраном и электроплитами, оснащенными терморегуляторами, расположен прибор контроля центрирования. Стол для склеивания, электроплиты, термостаты для сушки склеенных деталей выставляют строго по уровню. Лаборатории оснащены холодильниками для хранения оптических клеев.

Склеивание линз. При склеивании линз совмещают их оптические оси до значений, заданных чертежом, а также обеспечивают заданную толщину блока линз.

Непосредственно технологическому процессу склеивания предшествует комплектация линз попарно по виду интерференционных картин, а также по толщинам с учетом толщины слоя клея. Толщину слоя клея не контролируют, а обеспечивают в пределах 0,05—0,1 мм при склеивании бальзамом и 0,05—0,02 мм при склеивании другими клеями.

В большинстве случаев склеивают отрицательную 1 с более толстым краем и положительную 2 линзы. Поэтому попарно скомпонованные линзы укладывают на столе отрицательной линзой вниз в оправки, обеспечивающие их устойчивое положение (рис. 17.1).

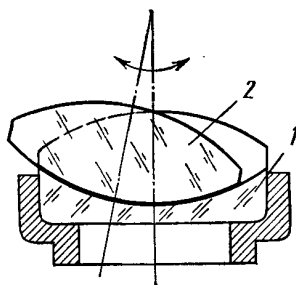


Рис. 17.1. Склеивание линз

Технологический процесс склеивания состоит из подготовки деталей и клея, собственно склеивания, центрирования, сушки или охлаждения, промывки и отжига. Склеиваемые поверхности чистят растворителем и удаляют пыль и ворсинки обезжиренной беличьей кисточкой. Чистоту соединяемых поверхностей оценивают визуально в проходящем свете.

При склеивании детали нагревают на электроплите или в термостате (более крупные) до 70—130°С в зависимости от марки бальзама. Одновременно нагревают бальзам в пробирке, которую помещают вместе с капельницей в глицериновую ванну, нагретую до 120°С.

Снимают верхнюю (положительную) линзу 2. На вогнутую поверхность нижней линзы 1 наносят каплю жидкого бальзама. На-

кладывают верхнюю линзу и деревянной рукояткой с пробковым наконечником, надавливая и перемещая ее, удаляют пузырьки воздуха, разравнивают слой, уменьшая толщину и выдавливая избыток клея (см. рис. 17.1).

Центрирование склеенных линз выполняют в технологической оправке на приборе перемещением верхней линзы до совпадения изображений рисунка сеток в поле зрения прибора в пределах допуска на децентричность осей линз. Затем линзы остывают на массивной плите, установленной по уровню. Излишки бальзама с цилиндрической вспомогательной поверхности склеенных линз удаляют лезвием ножа.

Для снятия деформаций, возникших при склеивании, линзы подвергают отжигу в термостате при 50°C в течение 4—5 ч с последующим медленным охлаждением до нормальной температуры.

Детали, склеенные бальзамом, легко разъединяются при нагревании до 130°C при необходимости расклеивания.

При склеивании бальзамином процесс чистки деталей аналогичен подготовке к склеиванию бальзамом. При склеивании бальзамином детали центрируют в холодном состоянии, пользуясь теми же приемами, что и при склеивании бальзамом. Для ускорения процесса полимеризации клея линзы после склеивания и центрирования нагревают на массивной плите до $80\text{--}90^{\circ}\text{C}$ в течение 10—15 мин. Во время полимеризации производят контроль центрирования. Клей полностью полимеризуется при выдержке в термостате ($25\text{--}30^{\circ}\text{C}$) в течение суток. Существуют и применяют также и более интенсивные режимы полимеризации.

Блоки из трех линз склеивают в два последовательных приема. Сначала склеивают по изложенной выше схеме две линзы, затем после полной полимеризации клея, тщательной промывки и очистки склеиваемых поверхностей приклеивают третью линзу. Избыток бальзамина по месту склейки удаляют лезвием бритвы, а склеенный блок промывают растворителями.

Неправильно склеенные детали до полной полимеризации бальзамина можно расклеить, быстро нагрев их до 200°C . После полимеризации детали могут быть расклеены нагревом в глицерине до $230\text{--}240^{\circ}\text{C}$ в течение нескольких часов. Однако такое разъединение связано с риском порчи деталей, особенно сделанных из флинтowych стекол. Расклейку механическим воздействием лезвия ножа в месте соединения применяют для линз из прочного стекла. Такое разъединение часто вызывает выколки и царапины. Применяют также термический способ разъединения, используя термоудар. Склеенный блок линз быстро охлаждают, помещая его в жидкий азот. В результате разницы температурных коэффициентов стекол происходит разделение деталей. Такое разделение также связано с риском порчи деталей.

Технологические процессы склеивания другими оптическими клеями аналогичны процессам склеивания деталей бальзамином. Некоторые особенности сушки и термообработки указаны в описаниях этих клеев.

Склеивание призм и пластин. Призмы и пластины склеивают так же, как и линзы. Обеспечение заданного взаимного положения и толщины склеиваемых деталей обеспечивают применением специального, индивидуального в каждом частном случае технологического оборудования и оснастки. Это различные ориентирующие и зажимные приспособления, часто предназначенные для установки на приборные столики контрольных коллиматоров, оптических скамей, микроскопов, гониометров. Склейку и полимеризацию клея осуществляют в этих же приспособлениях.

Приспособления могут быть выполнены литьем, сваркой, временной наклейкой упорных крепящих пластин. Конструкция приспособлений и способ крепления деталей определяются габаритными размерами, конфигурацией, требованиями чертежа к сборке и программой выпуска. Многопризменные системы склеивают последовательно так же, как и многолинзовые.

Для склейки призм часто используют клеи бальзамин. Эти клеи не деформируют оптические детали. Призмы из кристаллов (флюорита, бромистого калия и др.), работающие в приборах инфракрасной области спектра, склеивают клеем ОК-60. Другие оптические материалы инфракрасной области спектра, имеющие показатель преломления $n_e > 2$, склеивают клеем ТКС. Поляризационные призмы из исландского шпата склеивают акриловым клеем. Оптические детали для ультрафиолетовой области спектра склеивают клеями УФ-235М или УФ-215; при этом температура и время термообработки определяются размерами, конфигурацией и материалами оптических деталей.

Пластины склеивают так же, как и линзы, пластины с рисунком (шкалы, сетки) — с использованием специальной центрирующей и зажимной технологической оснастки, позволяющей удобно и быстро устанавливать соединяемые детали в контрольно-юстировочные приборы.

Поляроиды и светоделители клеят бальзамином. Пластины с желатиновыми фильтрами, детали с многослойными интерференционными покрытиями, а также поляризационные фильтры клеят акриловым клеем. При этом характеристики склеивания однотипных деталей разными клеями различаются. Например, при склеивании поляризационных светофильтров из поляроидов учитывают невозможность нагрева фильтров до высоких температур. Так, фильтры, склеенные акриловым клеем, сушат в термостате при 100—450°С в зависимости от размеров. Бальзамином-М клеят фильтры диаметром не более 100 мм при комнатной температуре в течение 48—72 ч. Кроме повышения производительности этот клей обеспечивает термо- и морозостойкость клеевого соединения. С помощью этого клея изготавливают сложные составные фильтры. В данном случае температуру и время термообработки определяют с учетом размеров деталей, клея, а также прочностных свойств покрытий склеиваемых деталей.

Часто по техническим условиям требуется защита клеевых соединений от атмосферного воздействия. Такие детали дополнитель-

но по периметру клеевого соединения защищают слоем клея ОК-46 или акрилового. Для гашения бликов и отраженных лучей на нерабочие поверхности наносят черный матовый лак.

17.2. Контроль склеенных деталей

Условно контроль склеенных деталей можно разбить на контроль дефектов склеенных поверхностей и контроль параметров и свойств склеенного блока деталей. И если первые часто не оговорены, но подразумеваются, то вторые оговариваются требованиями чертежа.

В соответствии с требованиями конструкции и условий эксплуатации склеенные детали дополнительно контролируют на влаго-, морозо- и термостойкость клеевого соединения и воздействие других условий эксплуатации. Часто такой контроль осуществляют выборочно или вместе с прибором, для которого предназначены данные детали.

Нарушение приемов или режимов склеивания может привести к следующим дефектам: расклейкам в виде точек, трещин, пятен; нарушению чистоты клеевого соединения в виде пылинок, ворсинок (рис. 17.2). Чистота помещений, рабочих мест, тщательность очистки склеиваемых поверхностей не только обеспечивают чистоту клеевого соединения, но и предупреждают появление расклеек. Расклейки могут возникнуть также под воздействием механических усилий, промывочных жидкостей, перепадов температуры и других факторов.

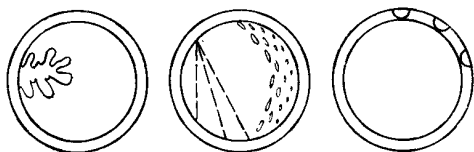


Рис. 17.2. Дефекты при склеивании

Для контроля чистоты клеевого соединения и обнаружения расклеек детали просматривают визуально невооруженным глазом или с помощью 6× лупы на темном фоне. Склеенные детали подсвечивают электролампой в торец клеевого соединения. При таком просмотре выявляют все дефекты и оценивают причину их появления.

Чертежом оговаривается качество наружных исполнительных поверхностей деталей по N и ΔN . Дефекты формы поверхностей могут возникать из-за натяжений в клеящем слое или нарушений режимов сушки и отжига.

Контроль формы поверхностей осуществляют последовательным наложением на контролируемые поверхности пробного стекла. Сравнением вида интерференционной картины с данными чертежа оценивают годность клеевого соединения по N и ΔN . Дефекты формы поверхностей ухудшают разрешающую способность оптических деталей. Поэтому эти дефекты можно выявить по снижению разрешающей способности склеенных деталей. Такой контроль удобно проводить для деталей небольших размеров и деталей с повышенным требованием к чистоте оптических поверхностей. В про-

цессе склеивания на ранее обработанных наружных исполнительных поверхностях деталей неоднократно могут образовываться дефекты чистоты. Это может произойти во время комплектации линз, установки скомплектованных линз в оправки, центрирования, термообработки и окончательной промывки. Чистоту поверхностей линз оценивают визуально с помощью лупы или при наблюдении в микроскоп в зависимости от заданного чертежом класса чистоты.

Предельно допустимое отклонение от центричности склеенных линз указывает на величину взаимного смещения оптических осей линз, выраженное в миллиметрах. Заданное чертежом значение предельно допустимого отклонения от центричности линз достигается на операции центрирования с последующим контролем этого значения на приборе контроля децентричности С. На рис. 17.3 по-

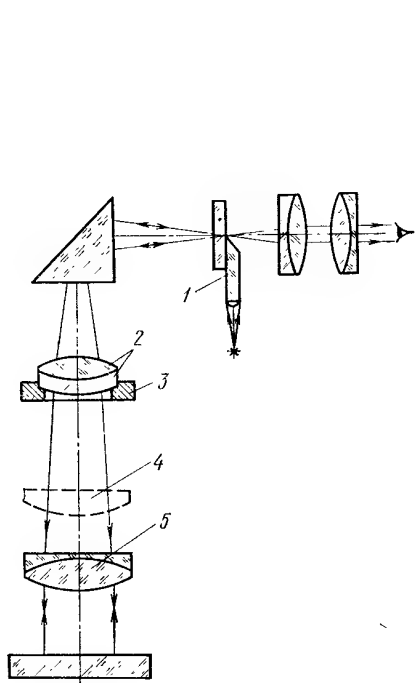


Рис. 17.3. Контроль центричности линз

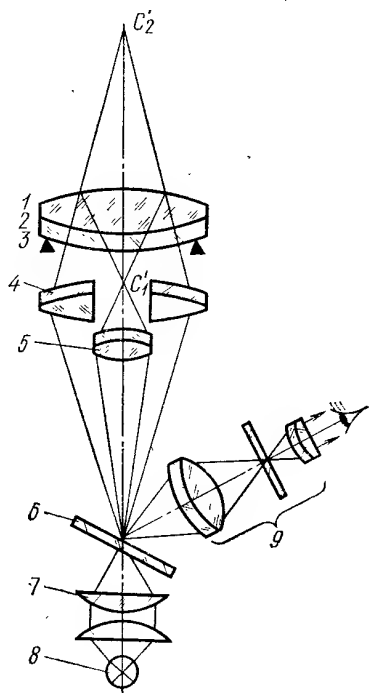


Рис. 17.4. Оптическая схема контроля линз в серийном производстве

казана схема автоколлимационного прибора контроля децентричности. Децентричность контроля на этом приборе 0,003—0,01 мм. Склеиваемые детали 2 располагают в технологической оправке 3, входящей в конструкцию прибора контроля. При этом базирование осуществляют по сферической поверхности отрицательной линзы, к центричности которой при изготовлении предъявляют более жесткие требования, чем к положительной линзе. Положительную

линзу изготавливают по диаметру несколько меньшей, поэтому при базировании ее можно немного смещать. Установка оправки 3 в прибор обеспечивает совмещение оптических осей отрицательной линзы и прибора контроля. О величине децентричности линзы судят по смещению автоколлимационного и прямого изображений сетки 1 в поле зрения прибора. Оправку 3 вращают, прижимая к одной стороне, чтобы исключить влияние зазора. Автоколлимационное изображение сетки перемещается по окружности. Радиус окружности, измеренный по неподвижному изображению сетки, соответствует удвоенному значению децентричности. Допустимое значение децентричности достигают, смещая верхнюю (положительную) линзу по нижней.

Оптическая схема прибора имеет сменную компенсационную линзу 4, дополняющую фокусное расстояние склеенного блока линз 2 и объектива 5 до требуемого значения.

Однако если базовая (отрицательная) линза недостаточно центрирована при изготовлении, то, добившись даже неподвижного изображения перекрестия сетки, все же можно получить плохо центрированный блок линз.

Оптическая схема контроля центричности, блока линз, показанная на рис. 17.4, обладает меньшими погрешностями. В основе схемы лежит способ центрирования с использованием автоколлимации от исполнительных поверхностей линз. Осветитель 8 через конденсор 7 освещает прозрачное перекрестие на зеркале 6. Изображение этого перекрестия образуется объективом 5 в плоскости автоколлимационной точки C_1' от внешней поверхности положительной линзы. Объектив 4 изображает перекрестие в плоскости автоколлимационной точки C_2' от склеиваемой поверхности 2. Объективы 4 и 5 собирают лучи, отраженные от поверхностей 1 и 2, в зоне перекрестия зеркала 6. В поле зрения микроскопа 9 одновременно видно перекрестие зеркала 6 и автоколлимационные изображения этого перекрестия, взаимно смещенные при наличии децентричности. Склеиваемые линзы базируют по поверхности 3. Линзы центрируют смещением положительной линзы по отрицательной. Вращать линзы нельзя. Такой прибор перспективен для крупносерийного производства, когда по соображениям экономичности и производительности труда требования к центричности компонентов при изготовлении должны быть широкими, но в результате склейки достигается минимальная децентричность.

Призмы склеивают и контролируют с использованием приспособлений, позволяющих устанавливать их в заданном положении относительно посадочных плоскостей и углов.

17.3. Оптический и глубокий оптический контакты

Оптический контакт. Операция соединения деталей оптическим контактом заключается в сближении чистых полированных поверхностей на расстояния радиусов действия молекулярных сил, т. е.

на расстояния менее $1 \cdot 10^{-7}$ см. При этом поверхности прочно соединяются под действием сил молекулярного сцепления.

Прочность контактного соединения имеет вполне реальные значения и зависит от марок контактирующих стекол, погрешности изготовления ($N=0,5 \div 2$) контактирующих поверхностей и их чистоты (порядка РII). Величина прочности на отрыв соединенных оптическим контактом деталей из силикатных стекол, плавленного кварца составляет $1000—7000$ Н/см², что в несколько раз выше прочности склеенных деталей. К другому положительному качеству соединения деталей оптическим контактом относят полное сохранение оптических свойств деталей. Так, при соединении оптическим контактом двух деталей из стекла одной марки коэффициент отражения от поверхности контакта лежит в диапазоне от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-7}$.

Процесс соединения деталей оптическим контактом складывается из подготовки деталей, их соединения и при необходимости центрирования линз. Детали подбирают по парам, чтобы контактируемые поверхности каждой пары совпадали между собой по $M=1 \div 4$ и имели чистоту не хуже РII. Линзы соединяют одновременно с центрированием на приборах центрирования. В прибор для центрирования помещают отрицательную линзу соединяемой поверхностью вверх и на нее кладут положительную линзу. Перемещением положительной линзы по отрицательной добиваются, чтобы изображение перекрестья коллиматора при вращении оправки с линзами находилось в пределах допуска. После этого прижимают положительную линзу к отрицательной для образования контакта, наблюдая, чтобы изображение перекрестья коллиматора не вышло за поле допуска. Неудачный оптический контакт легко разъединяется нагревом линз с одной стороны. В результате градиента температур линзы деформируются, в соединение попадает воздух и контакт нарушается. Торцы соединенных контактом деталей покрывают фасочным лаком.

Глубокий оптический контакт. Прочное бесклеевое соединение точно изготовленных поверхностей оптических деталей под действием сил молекулярного сцепления, упрочненное термической обработкой, называют глубоким оптическим контактом. Глубокий оптический контакт — неразъемное соединение, прочность которого близка к прочности материалов самих оптических деталей. Метод рекомендуется для соединения деталей, работающих в областях спектра, где склеивание приводит к значительным световым потерям; в условиях резких перепадов температур; в вакууме и агрессивных химических средах.

Технологический процесс соединения глубоким оптическим контактом состоит из нескольких операций. На исполнительной оптической поверхности создается пленка кремнезема толщиной $80—150$ нм. Пленка в зависимости от материала соединяемых деталей образуется или травлением в азотной кислоте с последующей промывкой, или нанесением раствора эфира ортокремневой кислоты. Осажденную пленку сушат при 100°C с последующей

выдержкой при комнатной температуре в течение двух суток. Посадка на глубокий оптический контакт не отличается от описанной выше.

Операцию термической обработки выполняют при 250°С в течение 8 ч с последующим охлаждением блока вместе с печью. Режим термической обработки зависит от марок стекол и размеров деталей.

Несмотря на преимущество такого соединения перед склеиванием, глубокий оптический контакт применяют сравнительно редко. Трудно подбирать в пары детали с полированными поверхностями, совпадающими до значений $N \leq 1$ и имеющими чистоту $P = I - II$, особенно на площадках большого размера. Сложно добиться необходимой чистоты в воздухе и на рабочем месте. Все это делает соединение детали глубоким оптическим контактом самым сложным способом соединения оптических поверхностей.

17.4. Спекание и сварка

Спекание. Оптические узлы (сборочные единицы) сложных конфигураций (кюветы спектральных приборов, колбы охлаждаемых приемников лучистой энергии и др.) изготавливают спеканием или сваркой оптических деталей друг с другом. Специфичность работы таких узлов в агрессивных средах, при повышенных требованиях к механической стойкости и других условиях ограничивает возможность изготовления склеиванием. Метод глубокого оптического контакта также неприменим из-за трудоемкости и сложности исполнения.

Технологический процесс спекания состоит из нескольких операций. Соединяемые поверхности оптических деталей должны быть подготовлены механической обработкой, промывкой и тщательной чисткой. После этого их покрывают тонким слоем специальной пасты, зажимают в приспособлении, обеспечивающем заданную конфигурацию и размеры соединения, и подвергают спеканию при высокой температуре. Паста из порошка легкоплавких стекол на основе глицирина в процессе спекания расплавляется и после медленного охлаждения деталей вместе с зажимным приспособлением образует прочное неразъемное соединение.

Коэффициенты термического расширения материалов деталей и пасты должны быть близки друг к другу. Конфигурация и размеры будущего узла, материалы соединяемых деталей и пасты определяют температуру и время спекания, режимы охлаждения. Часто конфигурация узла требует поэтапного соединения нескольких деталей.

Сварка. Технологический процесс сварки включает следующие операции. Взаимное ориентирование соединяемых деталей с помощью зажимных приспособлений или технологических оправок, часто выполняемых из графита. Сварку производят сжатием соединяемых деталей в размягченном состоянии пламенем газовой

или газокислородной горелки. Место спая формируется графитовой формовкой.

Все стеклодувные работы обязательно заканчиваются отжигом. Назначение отжига — снять напряжения, возникшие при неравномерном нагреве и охлаждении места сварки. В процессе отжига место спая или весь узел нагревают пламенем горелки или в электропечи до температур, близких к температурам сварки. При этом важно не допустить деформации деталей. Отжиг заканчивают медленным охлаждением до нормальных температур в печи и на воздухе. Время выдержки при максимальной температуре отжига и скорость охлаждения зависят от материала стекол, размеров и конфигурации узла.

Более точных размеров узла с меньшей вероятностью образования дефектов можно достичь использованием высокочастотной индукционной сварки деталей. Соединяемые детали взаимно размещают с помощью приспособлений. Во избежание неравномерного нагрева ориентируют индуктор относительно соединяемых деталей. Детали с нагретыми до требуемых температур зонами соединения перемещают до соприкосновения. При легком давлении производят соединение. По получении шва заданного размера давление снимают, а спай выдерживают еще некоторое время при температуре спайвания. Затем генератор выключают и блок передают на отжиг.

Индукционный нагрев использует электропроводность стекла в размягченном состоянии. В твердом состоянии стекло не электропроводно. Поэтому при сварке стекла со стеклом этот способ используют после предварительного разогрева стекла до получения электропроводности с помощью пламени газовой горелки или применяют металлические прокладки или кольца в месте спая. Индукционный нагрев воздействует на металл, а от него уже нагревается стекло.

Шары, цилиндры в серийном производстве изготавливают с помощью форм, состоящих из двух половинок, которые закрывают после помещения в них стекла в размягченном пластическом состоянии. Формы делают из алюминия или латуни.

По своей форме спаи бывают плоскими — соединение плоскими поверхностями; оконными или дисковыми — в цилиндрическую трубку впаяна плоская деталь (деталь охлаждаемых приемников лучистой энергии); рантовыми — соединение в торец двух трубок (деталь газовых лазеров); проволочными — металлический провод впаян в стекло (электроды и контакты лазеров).

В процессе производства спаев могут выявиться следующие дефекты: напряжения как следствие различия коэффициентов термического расширения материалов; расстекловывание или кристаллизация стекла как результат длительного нахождения стекла в размягченном состоянии; электролиз стекла в местах впайки электродов; газовые пузыри на поверхности спая. Наличие дефектов сокращает срок службы узлов.

Контрольные вопросы

1. Особенности соединения деталей склеиванием.
2. Расскажите о контроле клеевого соединения.
3. В чем достоинства и недостатки соединения деталей глубоким оптическим контактом?
4. Расскажите о соединении деталей спеканием и сваркой.

18. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КРИСТАЛЛОВ

18.1. Призмы из кристаллов кварца

Диспергирующую шестидесятиградусную призму изготавливают из двух 30° призм с применением лево- и правовращающего кварца, что исключает явление двойного лучепреломления и вращения плоскости поляризации (рис. 18.1). Направление оптической оси кристалла параллельно основанию призмы.

Поступающие для изготовления оптических деталей куски кристаллического кварца часто не имеют правильной геометрической формы и поэтому трудно определить направление оптической оси.

Грубую ориентацию с точностью до $3'$ проводят на иммерсионном приборе. Кусок кварца помещают в стеклян-

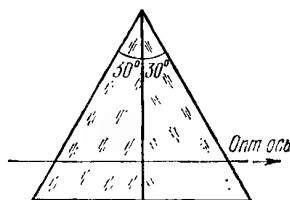


Рис. 18.1. Призма Корню

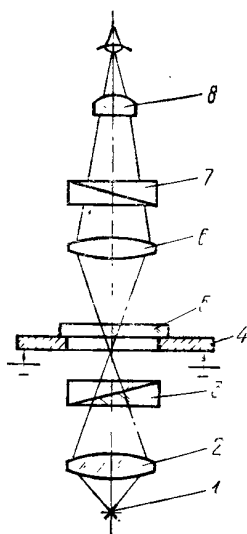


Рис. 18.2. Ориентация кристалла кварца

ную кювету с раствором иммерсионной жидкости и пропускают через нее поляризованный свет. По интерференционной картине судят о положении оптической оси и просматривают пороки кристалла, определяя его пригодность для изготовления деталей.

Точное определение оптической оси с погрешностью до $1'$ производят на поляризационном микроскопе (рис. 18.2). Пробную пластинку кварца 5, отпиленную от куска кристалла, помещают на подвижный столик 4. Монохроматический пучок лучей от ртутной лампы 1, пройдя через объектив 2 и поляризатор 3, поляризуется и при прохождении через кристалл наклонно к оптической оси раз-

деляется на обыкновенный и необыкновенный лучи. Лучи после прохождения объектива 6 и анализатора 7 интерферируют, образуя в поле зрения окуляра 8 интерференционную картину (рис. 18.3). Если при вращении кристалла интерференционная картина будет оставаться неподвижной, то ось вращения кристалла совпадет с его оптической осью.

Определив положение оптической оси в отпиленном куске, его помещают в прежнее положение к основному кристаллу и находят таким образом положение оси в большом куске. Затем отпиливают пробную пластину перпендикулярно оптической оси, шлифуют и снова проверяют положение оси. Внося поправку, весь кусок распиливают на пластину.

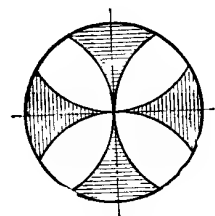


Рис. 18.3. Интерференционная картина

Технологические приемы шлифования и полирования кварца такие же, как и для стекла. При полировании нельзя применять интенсивные режимы, так как кристаллический кварц трескается при больших перепадах температур. Для деталей, работающих в ультрафиолетовой области спектра, предъявляют повышенные требования к точности полирования поверхностей ($N=0,5 \div 1$; $\Delta N=0,05 \div 0,1$). Полупризмы Корню после обработки комплектуют попарно для посадки на оптический контакт.

18.2. Поляризационные призмы Глана-Томпсона

Поляризационная призма (рис. 18.4) служит для получения пучка лучей, поляризованных в одной плоскости. Падающий на призму естественный свет разделяется на пучки лучей необыкновенных (e), поляризованных в главной плоскости, и обыкновенных (o), перпендикулярных главной плоскости. Один луч e проходит через призму, другой o — гасится.

Материалом клеящего слоя выбирают вещество, имеющее $n_e < n_o < n_{\lambda}$. Тогда обыкновенный луч претерпевает полное внутреннее отражение и не проходит во вторую полупризму. На выходе

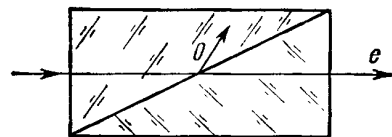


Рис. 18.4. Призма Глана-Томпсона

получается пучок только линейно поляризованных лучей. Чаще всего для видимой области спектра для склеивания используют бальзам ($n_{\lambda}=1,550$). Для излучений в ультрафиолетовой области спектра склеивание производит раствором мочевиноформальдегидных смол в бутиловом спирте, имеющем $n_{\lambda}=1,570$ и оптически прозрачным до $\lambda=0,2$ мкм. Для поглощения обыкновенных лучей грань призмы чернят или к ней приклеивают черную бумагу.

Заготовку призмы получают из куска исландского шпата, скалыванием по плоскостям спайности с помощью ножа. Распиливая

ние по диагонали производят в приспособлении с помощью алмазного диска диаметром 150—200 мм, вращающегося со скоростью 5—6 рад/с.

Обработку полупризм производят блочно. Заготовки приклеивают к приспособлению парафином или мягким воском в термостате с медленным нагревом и остыванием во избежание растрескивания. Шлифование выполняют в один переход электрокорундом М10 на стеклянном шлифовальнике. Полирование ведут окисью хрома на полировальнике из мягкой смолы с малыми числами оборотов нижнего звена (0,9—0,15 рад/с) для предотвращения нагрева заготовок. В конце полирования на инструмент подают только воду, при этом окись хрома растирается и исчезают матовый слой и царапины.

18.3. Призмы и линзы из кристаллов каменной соли

Детали из каменной соли работают в инфракрасном диапазоне излучения. Кристаллы каменной соли относят к водорастворимым, поэтому распиливание заготовок производят с помощью движущейся нити 4 (рис. 18.5), смоченной водой. Распиливаемый кристалл 2 устанавливают и закрепляют на столике 1, обычно из органического стекла, чтобы не было растрескивания кристалла при контакте с холодной металлической поверхностью.

Движение нити 4 производят при вращении шкива 3 через натяжной шарнир 5, часть шкива 8 погружена в бачок 9 с горячей водой. С помощью ходового винта 6 столик с кристаллом подается на движущуюся нить. Для защиты кристалла от попадания брызг воды, захватываемых движущейся нитью, служит фетровая заслонка 7. Плоскость распила получается достаточно ровной, без трещин и заколов. Заготовительные операции проводят так же раскалыванием куска по плоскостям спайности. Заготовки после распиливания тщательно высушивают и хранят в закрытых осушительных сосудах (экзикаторах).

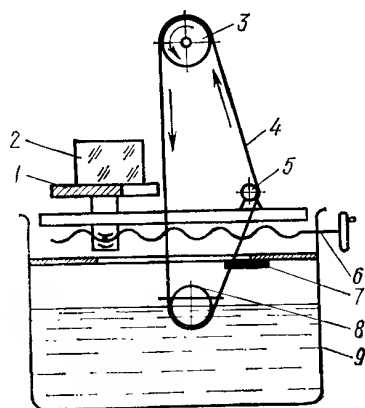


Рис. 18.5. Распиливание кристаллов каменной соли

Шлифование производят электрокорундовым порошком М20, так как более крупные абразивы могут образовывать на обрабатываемой поверхности кристалла глубокие выколки, царапины и трещины. Смачивающей жидкостью служит насыщенный водный раствор каменной соли, глицерин или спирт.

Полирование производят на сотовых полировальниках из мяг-

кой смолы или резины с подачей суспензии полирита или окиси хрома. На сотовом полировальнике вода скапливается в углублениях и растворяет поверхностный слой соли, который легко удаляется выступающими частями полировальника. Полировка идет так интенсивно, что исключается операция мелкой шлифовки. Закачивают полировку после полного испарения воды, так как остатки влаги вызывают дефекты на полированной поверхности. Допуски на погрешности формы $N=10$, $\Delta N=2$.

Контроль выполняют пробным стеклом без нажима. На пальцы надевают тонкие резиновые напальчники, так как от прикосновения на полированной поверхности образуется налет. Готовые детали обязательно покрывают защитным лаком и хранят в эксикаторах.

18.4. Рубиновые стержни лазеров

В серийном производстве выпускаются оптические квантовые генераторы (ОКГ) с активными телами из кристаллов рубина. Активные тела из рубина, применяемые в мощных генераторах, из-за трудностей выращивания изготавливают диаметром менее 20 мм и длиной менее 400 мм.

Чтобы улучшить выходные характеристики ОКГ (монохроматичность, к. п. д.) и сохранить высокую пропускательность для излучения в системе накачки ОКГ, цилиндрическую поверхность стержня делают шероховато-полированной. Шероховато-полированная цилиндрическая поверхность стержня, характеризующаяся блеском

при величине микронеровностей до 15 мкм, образуется шлифованием порошком карбида бора зернистостью М40 и последующим полированием длинноволосными капроновыми щетками. Упругие нити капроновых щеток 1 (рис. 18.6), закрепленных на вращающихся валах 3 инструмента 2, проникают в глубокие каверны шлифованной поверхности и придают ей блеск.

Шлифование торцов производят порошками карбида бора в три перехода М20, М10, М7 на шлифовальнике из ситалла или кварца. Стержни крепят на многоместных механических приспособлениях.

Полирование торцов ведут в несколько переходов на пластмассовом инструменте микронными или субмикронными алмазными порошками размером от 3 до 0,25 мкм. В водную суспензию для интенсификации полировки добавляют биосульфат калия или

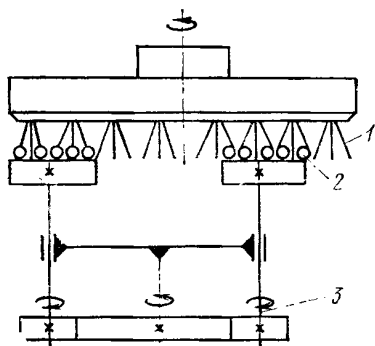


Рис. 18.6. Обработка стержней лазеров

травящие реагенты (винную или щавелевую кислоты). Для компенсации оптического клина в стержне создается искусственная непараллельность его торцов в пределах 20". Для создания непараллельности применяют неравномерный нажим дополнительными грузами на периферию зажимного приспособления. Контроль параллельности торцов производят длиннофокусным коллиматором.

18.5. Пластины из германия и кремния

Монокристаллические слитки на пластины разрезают алмазными дисками или полотнами шириной порядка 10 мм и толщиной от 0,1 до 0,2 мм. Длина полотна определяется конструкцией станка и держателя кассеты, в которую набраны полотна. Число полотен, набираемых в одну кассету, может достигать нескольких десятков, а длина до одного метра. Кассету с набором полотен устанавливают на станке и приводят в возвратно-поступательное движение. Резку производят с подачей водной суспензии карбида кремния зернистостью M14.

Алмазные диски применяют чаще с внутренней режущей кромкой толщиной менее 0,2 мм, так как у наружной режущей кромки больше биение и приходится увеличивать толщину диска до 0,4—0,5 мм. Станки для резки слитков на пластины алмазными дисками подобны обычным фрезерным станкам, в которых вместо фрезы устанавливается алмазный диск.

Производительность данного способа резки выше, чем полотнами. При скорости вращения диска порядка 800 рад/с от слитка кремния диаметром 40 мм отрезают пластинку за 1,5—2 мин.

Грубое и среднее шлифование производят свободным электрокорундом или карбидом кремния M28 до M14 на стеклянном или кварцевом шлифовальнике. Чугунные шлифовальники не применяют, так как в нарушенном слое остаются частицы дисперсного железа, которые при химической полировке на поверхности образуют нерастворимый осадок.

При обработке пластины наклеивают смесью воска с канифолью и помещают в металлические сепараторы, толщина которых определяет толщину получаемых после шлифования пластин.

Мелкую шлифовку и грубое полирование проводят алмазными пастами АМС5 — АМС3 на фторопластовом инструменте.

Тонкое полирование производят окисью хрома на смоляном или суконном полировальнике. Химическое полирование в растворах азотной кислоты и перекиси водорода применяют реже, так как пластины после обработки получают «чечевицеобразной» формы из-за того, что края пластин травятся быстрее.

Контрольные вопросы

1. Как определяют оптическую ось кристалла кварца?
2. Расскажите о шлифовании и полировании кальцита.
3. Каким способом распиливают кристаллы каменной соли?
4. Как обрабатывают активные элементы из рубина?

19.1. Способы формообразования

Оптические детали с несферическими поверхностями находят все большее применение в оптических приборах. Они позволяют сократить количество линз или улучшить параметры оптических систем.

Эллипсоидные поверхности применяют в системах накачки ОКГ, параболические и гиперболические — в оптических координаторах тепловых головок самонаведения ракет, поверхности высших порядков в объективах заатмосферных приборов и объективах любительских фотоаппаратов.

Наиболее распространены в оптических приборах поверхности второго порядка, из которых параболоиды составляют более 50% от общего количества вследствие наличия удобных методов их изготовления и контроля.

Наиболее существенной задачей является создание технологических процессов обработки асферических поверхностей с заданной точностью в серийном производстве.

В зависимости от назначения асферической поверхности, ее формы, точности и производительности применяют различные способы обработки.

Вакуумное моллирование. Метод формирования асферической поверхности из полимеров весьма прост и производителен, однако из-за усадки и старения материала не обеспечивается высокая точность изготовления поверхностей оптических деталей.

Оптические детали типа зеркал прожекторов или узлов (сборочных единиц) освещения кинопроекторной аппаратуры, имеющие асферические поверхности низкой точности и формы мениска, изготавливают принудительным вакуумным моллированием из плоских полированных стеклянных заготовок.

Круглые заготовки 3, вырезанные из листового стекла, нагревают в форме 2 до температуры начала пластической деформации. После создания вакуума под заготовкой она просаживается в форму под действием избыточного давления, принимая ее конфигурацию (рис. 19.1).

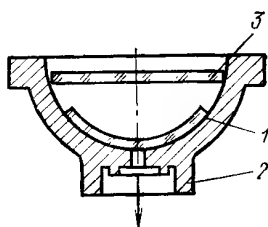
Моллирование деталей диаметром от 120 до 500 мм выполняют на полуавтоматической установке, состоящей из многопозиционной карусельной печи, где производят нагрев заготовки и ее вакуумное моллирование в такой же, как для первого случая, металлической форме 2 (рис. 19.1). Готовая деталь 1 сохраняет полированные поверхности и не требует последующей обработки. Для снятия внутренних напряжений в установке предусмотрена печь отжига и размещена камера медленного охлаждения. Производительность установки — до 80 деталей в час при погрешности формы по углу отклонения нормали к асферической поверхности более $30'$.

Вакуумная асферизация. Детали с асферическими поверхно-

стями с малым отступлением от ближайшей сферы или плоскости изготовляют вакуумной асферизацией. Метод основан на нанесении на исходную сферическую или плоскую полированную поверхность подложки асферизирующего слоя неодинаковой толщины. Этим способом возможно изготовлять поверхности любого уравнения, но максимальная толщина наносимых слоев не может быть больше 10—15 мкм, так как прочность слоев резко уменьшается с увеличением толщины.

Для образования асферической поверхности на стеклянной или металлической подложке используют испаритель и маску, расположенную между ним и подложкой. Прозрачные или непрозрачные слои (монооксиды кремния, сернистого цинка и др.) наносят в вакуумной установке на вращающуюся с небольшой скоростью подложку.

Геометрию вырезов маски (рис. 19.2) рассчитывают в зависимости от распределения толщины слоя наносимого вещества по круговым зонам подложки. Маску изготовляют из латунной фольги толщиной 0,05 мм фотогальваническим способом, центрируют и закрепляют на жестком каркасе. Маску располагают в не-



К вакуумному насосу
Рис. 19.1. Моллирование

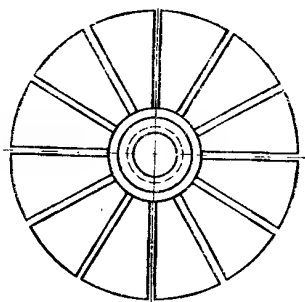
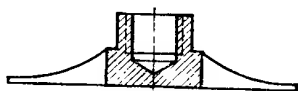


Рис. 19.3. Упругий лепестковый инструмент

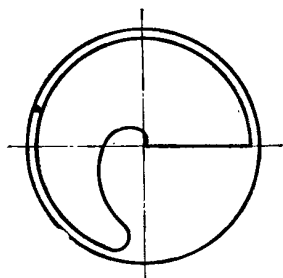


Рис. 19.2. Маска для вакуумной асферизации

посредственной близости от подложки на расстоянии 2—5 мм с погрешностью менее 0,1 мм.

Технология нанесения неравномерных покрытий не отличается от описанных ранее способов термического испарения веществ в вакууме. В процессе испарения толщину слоя косвенно контролируют фотометрическим устройством. Погрешность толщины наносимого слоя составляет более 0,1 мкм.

Способ «местной ретуши». При обработке наиболее точных астрономических зеркал применяют давно известный способ «местной ретуши». Шлифование и полирование проводят небольшим диамет-

ром 0,1—0,2 от диаметра заготовки сплошным или кольцевым инструментом. Заготовку обрабатывают от ближайшей сферы и контролируют теневым способом. Кинематику станка настраивают так, чтобы центр инструмента находился на вершине бугра при изменении его возвратно-поступательного перемещения. Ввиду малой рабочей поверхности инструмента и частых перенастроек режима обработки время получения требуемой формы достигает нескольких дней и даже месяцев. В настоящее время стали внедрять ЭВМ; с помощью ЭВМ производят управление перемещением инструмента для образования требуемой поверхности.

В оптической промышленности разработано большое число способов шлифования и полирования асферических поверхностей, использующих различные принципы образования требуемой формы.

Обработка упругим лепестковым инструментом. Требуемый сьем припуска путем неравномерного распределения давления производят упругим лепестковым инструментом (рис. 19.3) на станках типа «Планета». Упругий инструмент представляет собой круглую пластину переменного сечения с радиальными прорезями. Жесткость инструмента рассчитана так, чтобы усилие, приложенное к центру инструмента, передавалось на обрабатываемую поверхность неравномерно в соответствии с распределением припуска и выравнивалось при достижении требуемой асферической формы поверхности. Для уменьшения износа рабочую поверхность шлифовальника алмазируют, а для полирования на нее наносят слой смолы. Широкое применение способа ограничено сложностью расчета и изготовления инструмента.

Обработка способом точечного или линейного соприкосновения. На заготовительных операциях используют копируемые станки с инструментом, который соприкасается в точке с участком обрабатываемой поверхности, площадь которого мала по сравнению с площадью инструмента и заготовки. Примером такого способа может служить обработка поверхности резцом. Такие станки используют для предварительной обработки, так как не обеспечивают высокой точности поверхности.

Соприкосновением по линии называют такой способ, при котором инструмент и заготовка в процессе обработки контактируют по очень узкой полоске — линии, например, при обработке цилиндрической поверхности шлифовальным кругом. Обработка обеспечивает более высокую точность асферической поверхности. Этим способом производят шлифование и полирование с отступлением от заданной асферической поверхности до 150 мкм.

Обработку ножевым инструментом применяют для получения выпуклых и вогнутых асферических поверхностей второго порядка. Схема обработки параболических поверхностей изображена на рис. 19.4. Она основана на свойстве параболоида вращения давать в сечениях, параллельных оси вращения, параболу одного и того же уравнения. Заготовка 1, имеющая сферическую поверхность, вращается вокруг оси. Инструмент (нож) 2, представляющий собой тонкую пластинку из стали, латуни или оргстекла, перемеща-

ется возвратно-поступательно со скоростью около 30 д.в. ход/мин параллельно самому себе и оси вращения заготовки. Соприкосновение заготовки и инструмента происходит по линии.

Шлифование выполняют свободным абразивом от № 6 до М14. Контроль шлифованной поверхности осуществляют с помощью шаблона, имеющим профиль искомой параболы. Полирование производят на том же оборудовании ножевым инструментом, обтянутым сукном, пропитанным смолой.

Обработку методом свободного притира.

Этот способ применяют для шлифования и полирования цилиндрических поверхностей. Соприкосновение инструмента и заготовки при обработке происходит по поверхности. Заготовку обрабатывают на круглошлифовальном станке алмазными кругами. Шлифование и полирование производят притирами с помощью водных суспензий шлифовальных порошков на станках типа ШПА-500 и 2ШПА-200. Заготовки, наклеенные на приспособление, вращаются. Шлифовальник совершает качательные и возвратно-поступательные движения.

Полирование осуществляют смоляным инструментом, а контроль — цилиндрическими пробными стеклами.

Обработку пружинно-каблучным инструментом применяют для шлифования и полирования выпуклых и вогнутых асферических поверхностей любого порядка. Соприкосновение инструмента и заготовки при обработке происходит по площадкам конечных размеров.

Рабочая поверхность пружинно-каблучного инструмента разбита на ряд площадок конечных размеров простой конфигурации, называемых каблучками 1, которые самоустанавливаются относительно поверхности заготовки 2 благодаря наличию сферического шарнира 3 (рис. 19.5). Постоянное силовое замыкание каждого из каблучков с поверхностью обрабатываемой заготовки, которой служит сфера ближайшего радиуса, осуществляется пружинами 5. Корпус инструмента 4 вращается вокруг оси и имеет возвратно-поступательное перемещение относительно заготовки, передаваемое поводком 6. Расположение, количество и конфигурацию каблучковых элементов рассчитывают, исходя из распределения слоя припуска по поверхности сферической заготовки. Приемы шлифования и полирования асферических поверхностей пружинно-каблучным инструментом ничем не отличаются от обыч-

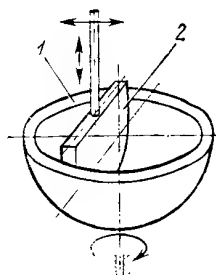


Рис. 19.4. Обработка ножевым инструментом

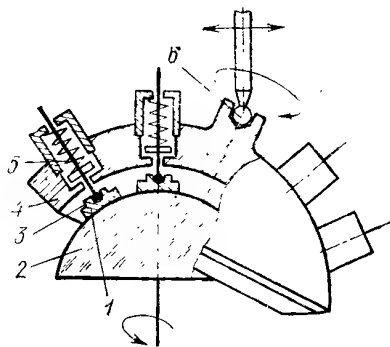


Рис. 19.5. Пружинно-каблучковый инструмент

ных, применяемых при обработке сферических и плоских поверхностей.

19.2. Контроль асферических поверхностей -

Контроль шлифованных поверхностей. Технологический контроль шлифованных асферических поверхностей осуществляют с помощью контактно-механических средств контроля: шаблонов, измерительных машин, полярных компараторов, сферометров. Полярным компаратором измеряют радиус-вектор с погрешностью до 1 мкм в различных точках поверхности. В оправку 1 устанавливают измеряемую деталь 2 (рис. 19.6). Измерительный механизм содержит шкалу 3 отсчетов углов с ценой деления $30'$ и радиусов-векторов 5 с ценой деления 1 мкм, измерительный стержень 4. Перед началом измерения необходимо совместить геометрический центр ближайшей сферы (точку O) с центром поворота измерительного стержня.

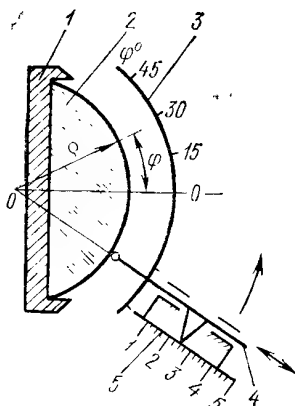


Рис.19.6. Контроль асферических поверхностей на полярном компараторе

Погрешность измерения зависит от неправильности совмещения геометрического центра ближайшей сферы с началом координат, компланарности осей вращения измерительной головки и перемещения измерительного штифта, погрешности установки заданного координатного угла φ , погрешности отсчета. Средняя погрешность результата контроля полярным компаратором 2 мкм. В настоящее время это наиболее точный способ измерения, но весьма трудоемкий.

Контроль полированных поверхностей. Для этого применяют бесконтактные оптические методы контроля: теневые, автоколлимационные и интерференционные.

Двойной аберрометр (рис. 19.7) предназначен для технологического и приемо-сдаточного контроля асферических поверхностей вращения второго (за исключением выпуклого эллипсоида), а также некоторых фокусирующих поверхностей высшего порядка. Этим способом измеряют углы отклонения нормалей к профилю контролируемой поверхности в различных зонах от нормалей к теоретически заданной поверхности. Пучок лучей из автоколлимационной зрительной трубы 1 проходит пентапризмы 3 и 5, расположенные симметрично и перемещающиеся от оптической оси или к ней, и отражается контролируемой поверхностью 2, собираясь на плоском зеркале 4, помещенном в фокусе. Отразившись от плоского зеркала, пучки лучей идут навстречу друг другу и после прохождения пентапризм опять направляются в автоколлимационную трубу. В поле зрения видим два изображения щели, совпадающих

друг с другом, если фокус контролируемой зоны лежит в плоскости зеркала 4. Изображения штрихов расходятся на расстояние Δ , если фокус зоны не совпадает с плоскостью зеркала 4.

Смещением зеркала 4 на величину ΔF можно добиться совпадения штрихов. Пентапризмы перемещают и последовательно замеряют для каждой зоны поверхности величины Δ или ΔF , вычисляя

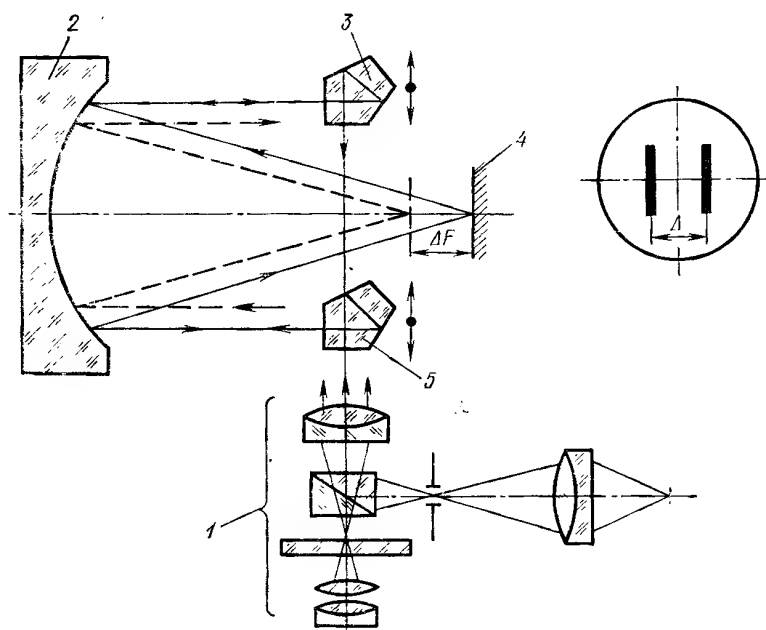


Рис. 19.7. Схема двойного абберметра

величину отклонения угла нормами, находят отступление контролируемой поверхности 2 от заданной. Погрешность измерения углов отклонения нормами на двойном абберметре составляет около $4''$.

Технологический и прямо-сдаточный контроль объективов с асферической поверхностью проводят на приборе, построенном по схеме интерферометра Тваймана с модифицированной рабочей ветвью (рис. 19.8). Пучок лучей из коллиматора 1 направляется разделительной пластиной 3 на плоское эталонное зеркало 2 и контролируемый объектив 4, фокус которого F'_0 совпадает с центром кривизны C_0 эталонного зеркала 5.

По числу интерференционных колец или изгибу интерференционной полосы, наблюдаемых с помощью оптического устройства 6, судят о погрешностях изготовления асферического объектива 4 с учетом нецентричности линз, неоднородности стекла и т. д. Погрешность измерения зависит от точности совмещения фокуса контролируемого объектива с центром кривизны эталонного зеркала. По-

грешность определяют по контрастности и минимуму колец интерференционной картины в поле зрения.

Приемо-сдаточный контроль вогнутых параболоидов, эллипсо-

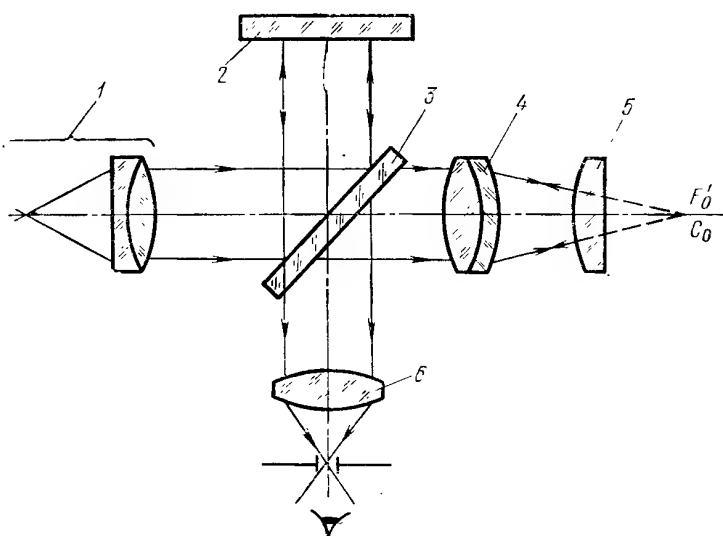


Рис. 19.8. Интерферометр Тваймана

идов, гиперболоидов и отдельных оптических систем производят измерением размера пятна рассеивания (рис. 19.9). При контроле

параболоидов от коллиматора на поверхность 4 посылается через диафрагму 2 параллельный пучок 1 лучей, который фокусируется на призме 3. Размер пятна измеряют с помощью микроскопа 5.

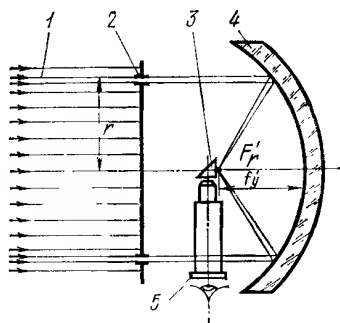


Рис. 19.9. Контроль пятна рассеивания

Пятно рассеивания диаметром 0,02—0,05 мм характеризует поверхность оптических деталей, соответствующих точности $N=3\div 8$ и $\Delta N=0,3\div 1$. Метод контроля не позволяет судить о величине и расположении зональных ошибок на сферической поверхности.

19.3. Изготовление астрономической оптики

Оптические детали диаметром от 500 до 6000 мм с плоскими, сферическими и асферическими исполнительными поверхностями, обработанные с интерференционной точностью, принято называть астрономической оптикой. Примерами деталей астрономической оп-

тики являются главные зеркала с параболической поверхностью, телескопов-рефлекторов диаметрами 2,6 и 6 м, изготовленные в Советском Союзе.

Астрономическая оптика должна иметь деформации менее 0,03 мкм от собственного веса, изменения температуры и натяжения материала. Для уменьшения массы зеркала делают ребристыми и сотовыми с глухими отверстиями различной конфигурации. Но такие зеркала обладают меньшей тепловой инерцией по сравнению со сплошной конструкцией и более подвержены изменениям температуры. Чтобы уменьшить деформации астрономической оптики от собственного веса при эксплуатации и обработке, ее разгружают с помощью опор, расположенных в нескольких круговых зонах.

Для изготовления зеркал применяют стекла типа ЛК-5, астро-ситаллы марки СО-115М и металлы. Теплопроводность металлов в несколько раз больше, чем у стекла. Поэтому у металлических зеркал при изменениях температуры окружающей среды происходит быстрое выравнивание температуры по всему объему, что снижает их деформацию. Металлические зеркала намного труднее полируются и качество их поверхности ниже, чем стеклянных.

Для крупногабаритной оптики применяют специальные станки. Иногда их выпускают для обработки нескольких деталей, а для шестиметрового зеркала построен специальный термостабильный цех в виде отдельного здания с двойными стенами. Глухие отверстия с тыльной стороны зеркала, необходимые для облегчения и расположения в них разгрузочных опор, обрабатывают на карусельных станках многолезцовыми головками из твердого сплава ВК-8 или трубчатым алмазным инструментом.

Для шлифования и полирования исполнительных поверхностей различной формы диаметром до 1500 мм используют станок СПА-1500. В конструкции верхнего звена (рис. 19.10) применен привод от двух кривошипов 1 и 2, что дает широкий диапазон настроек траекторий перемещения инструмента 3, необходимый для управления формообразованием точных поверхностей. В станке имеется поворотная траверса ретуши 4 для доводки при асферизации. При контроле поверхностей непосредственно на станке возможен поворот изделия 5 в вертикальное положение с радиальной нагрузкой.

Для шлифования и полирования применяют инструмент из легкого сплава АЛ4. На полировальник наносят мягкую смолу. Рабочую поверхность инструмента разделяют канавками шириной 10 мм на квадраты размером 30×30 мм. Благодаря этому уменьшается возможность появления царапин на стекле и улучшается отвод шлама.

Шлифование проводят в три перехода абразивами № 5, М28, М14 при скоростях вращения шпинделя 0,2—0,5 рад/с, кривошипа 0,4—1,0 рад/с и давлении 1,5—5 кПа.

Полирование проводят на тех же или менее интенсивных режимах, чтобы уменьшить нагрев заготовки и, следовательно, ее

деформации. Обработка длится от нескольких недель до нескольких месяцев.

Для контроля крупногабаритной оптики нецелесообразно применять пробные стекла, которые при наложении на контролируе-

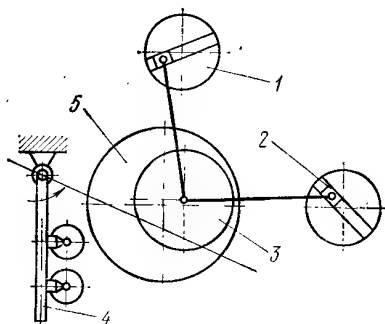


Рис. 19.10. Схема станка СПА-1500 для обработки астроптики

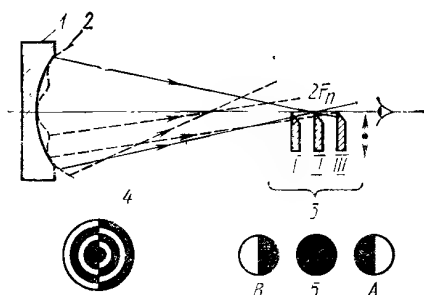


Рис. 19.11. Теневой способ контроля

мую деталь деформируются под действием собственного веса и искажают интерференционную картину. Пробные стекла изготовляют диаметром менее 200 мм, а приходится контролировать поверхность, в несколько раз большую, что затрудняет оценку погрешностей детали. При наложении больших пробных стекол почти неизбежны царапины, поэтому контроль сферических и асферических поверхностей астрономической оптики производят теневым способом.

Точечный источник света или диафрагму помещают в центр кривизны сферической поверхности (рис. 19.11). Если нож 3 расположен перед фокусом (положение I), то изображение от зеркала, воспринимаемое глазом, будет иметь вид А. Тень будет двигаться в направлении движения ножа. Если нож расположен за фокусом (положение III), то теневая картина имеет вид В и тень перемещается навстречу движению ножа. Когда нож перемещается в плоскости, проходящей через центр кривизны сферической поверхности перпендикулярно оптической оси (положение II), то в момент касания кромки ножа оптической оси зеркала теневая картина имеет вид Б — равномерное серое поле при отсутствии погрешностей формы сферической поверхности зеркала 1. Такое положение называют чувствительным. При наличии погрешностей формы поверхности 2 теневая картина 4 при чувствительном положении ножа представляет собой чередование темных и светлых полуколец. Границы этих полуколец соответствуют вершинам бугров или ям на исследуемой поверхности. Теневым методом имеет чувствительность до $0,015\lambda$ и позволяет качественно контролировать профиль сразу всей поверхности.

1. Расскажите о способах обработки асферических поверхностей.
2. Какие поверхности обрабатывают ножевым инструментом?
3. Как обрабатывают цилиндрические поверхности?
4. Что такое пружинно-каблучный инструмент?
5. Как контролируют шлифованные асферические поверхности?
6. Расскажите об устройстве двойного абберметра.
7. Как определяют размер пятна рассеивания?

20. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

20.1. Пробные стекла

Пробные стекла являются контрольным инструментом и предназначены для определения интерференционным методом величины отступления радиуса и местных ошибок формы от тех же параметров пробного стекла.

На заводах используют три типа пробных стекол: РПС, КПС и ОПС — рабочие, контрольные и основные пробные стекла. Такое подразделение пробных стекол вызвано их назначением. Для контроля формы изготавливаемых поверхностей оптических деталей постоянно используют РПС. Наложение пробных стекол при контроле связано с их износом. Поэтому как в процессе изготовления РПС, так и в период использования их контролируют КПС, которые в свою очередь могут быть проконтролированы ОПС. В крупносерийном производстве частое использование РПС вызывает обязательное применение КПС и ОПС. В мелкосерийном и единичном производстве допускается контролировать РПС непосредственно ОПС без изготовления и использования КПС.

Пробные стекла изготавливают диаметром до 130 мм. При технической необходимости могут быть выполнены КПС и РПС диаметром до 220 мм.

При заказе пробных стекол выбирают их диаметр в 1,2 раза больше диаметра контролируемых деталей. Крупногабаритные детали контролируют пробными стеклами меньших размеров с перекрытием зон контроля до половины диаметра пробного стекла. Расшифровку результата измерения в этом случае производят по специальной методике.

Пробные стекла изготавливают из стекла ЛК7 или ЛК5, обладающих малым коэффициентом линейного расширения и необходимой прочностью на истирание. Основные сферические пробные стекла изготавливают парами, состоящими из выпуклого (+) и вогнутого (—) стекол, а плоские — комплектом из трех стекол. Стекла должны сопрягаться своими измерительными поверхностями с погрешностью до $0,5N$. Контрольные пробные стекла изготавливают с кривизной, соответствующей кривизне проверяемых поверхностей, а рабочие пробные стекла — с кривизной, обратной кривизне проверяемых поверхностей. КПС и РПС изготавливают только одного знака.

Заготовительные операции технологического процесса изготов-

ления пробных стекол производят обычным способом и заканчивают полированием нерабочих поверхностей и обработкой микропорошком М28 измерительной поверхности. Мелкое шлифование измерительных поверхностей ведут на латунных шлифовальниках, а затем совместной взаимной притиркой стекла по стеклу по парам, если пробные стекла сферические, или по три штуки, если пробные стекла плоские. Такая обработка устраняет ошибки, образующиеся в процессе мелкого шлифования поверхностей обычными способами, и основана на известном правиле: если деталь находится внизу, то при взаимной притирке у нее больше срабатывается край, а если сталь сверху — то середина. Перемена деталей местами в процессе обработки позволяет плавно изменять радиус кривизны. В процессе мелкого шлифования радиус кривизны более 15 мм контролируют сферометром. Для контроля сферичности вогнутых стекол с радиусом кривизны менее 15 мм изготавливают детали с выпуклой сферической поверхностью толщиной больше радиуса. Радиус этой детали измеряют микрометром, а затем ее используют для подгонки радиуса пробного стекла.

Полирование всех деталей комплекта осуществляют одновременно, используя взаимный контроль поверхностей по цвету при наложении. Обработку поверхностей пробных стекол ведут до получения желто-соломенного цвета, при котором N и ΔN меньше 0,1.

Плоские пробные стекла изготавливают последовательной подгонкой под цвет трех заготовок, добываясь желто-соломенного цвета сначала для двух заготовок. Наложением одной из них на третью судят о форме поверхностей по интерференционной картине. Затем притирают третью заготовку к одной из первых, контролируя форму с помощью другой, и т. д. до получения трех точных плоских поверхностей.

Пробные стекла получают в результате ручной доводки, измеряя радиус кривизны сферометром, а форму поверхности по интерференционной картине (цвету) при взаимном наложении. При контроле изготовленных пробных стекол отбирают ОПС с наибольшими отклонениями, затем КПС и далее как наиболее точные рабочие пробные стекла. Весь процесс изготовления пробных стекол выполняют вручную на ножных доводочных станках.

Окончательный контроль пробных стекол производят при $20 \pm 3^\circ \text{C}$ по интерференционной картине в монохроматическом свете на следующий день после полирования, выдерживая их для выравнивания температуры пробных стекол и окружающей среды в течение двух часов после наложения.

Отклонения формы поверхностей основных пробных стекол определены государственным стандартом. Стандартом допускаются шлифованные пузыри, царапины и другие дефекты, если они не затрудняют наложения пробного стекла и не искажают интерференционной картины. Для лучшей сохранности измерительных поверхностей рекомендуется при окончательной доводке оставлять на них следы шлифования. Такие поверхности лучше протираются, меньше царапаются, реже самопроизвольно садятся на оптический

контакт. Пробные стекла диаметром менее 10 мм для удобства использования наклеивают балзамом Т15 на полированные пластины.

Пробные стекла маркируют, гравирова алмазным карандашом номинальное значение радиуса кривизны с его знаком на нерабочей полированной поверхности. Выпуклые поверхности обозначают знаком плюс (+), вогнутые — минус (—) и плоские R_{∞} . Стекла диаметром менее 10 мм маркируют на подклеенной к ним стеклянной пластине.

В процессе эксплуатации пробные стекла изнашиваются. Изношенным считается пробное стекло, у которого общие или местные отклонения измерительных поверхностей на 50% превышают допустимые стандартом.

20.2. Фронтальные линзы объективов микроскопов

Фронтальные линзы микрообъективов, некоторых светосильных фотообъективов и конденсоров — это детали шаровидной формы, близкие или равные полусфере. Предъявляемые требования к допустимым погрешностям формы следующие: $N \leq 1$, $N \leq 0,2$, чистота поверхностей РII — РVI классов.

Окончательную форму достигают обработкой полированных шариков. Технологический процесс изготовления полированных шариков является примером автоматизированного производства. Заготовительные операции заключаются в нарезании алмазной пилой пластин из листа стекла, которые режутся на кубики. Одновременно обрабатывают партию из 1000 шт. кубиков с припуском по диаметру шарика 0,7—1,2 мм. На первой операции кубикам придают предварительную шарообразную форму во вращающемся шлифовальном барабане, стенки, дно и крышка которого обложены абразивными брусками (рис. 20.1). Кубики свободно перекатываются, сталкиваясь между собой и с внутренними поверхностями барабана, и принимают приближенную, шарообразную форму. Режим обработки подобран так, что эта операция, так же как и все последующие, длится около 15 ч.

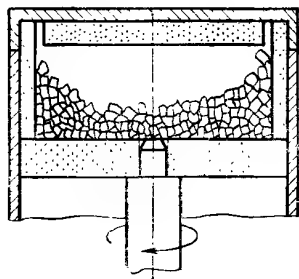


Рис. 20.1. Придание заготовкам предварительной шарообразной формы

На второй операции всю партию шлифуют абразивными кругами (рис. 20.2). Шарики из бункера 1 попадают в сепаратор 2, который прокатывает их между шлифовальными кругами 3, расставленными на размер заданного диаметра. Пройдя между шлифовальными кругами, шарики попадают в сортировочное устройство 4. По линейкам, раздвинутым под некоторым углом, они переда-

ются винтовой передачей на лотки приемников под шарики, разделенные на четыре партии, отличающиеся по диаметру на 0,1 мм.

Третью операцию среднего и мелкого шлифования производят абразивными микропорошками М20, М14 и М7. Каждую из четырех партий обрабатывают также за 15 ч. Латунный шлифовальник (рис. 20.3) имеет конические отверстия с углом при вершине 60°. В отверстия шарики погружаются на $\frac{2}{3}$ диаметра и свободно вращаются, притираясь к конической поверхности. Вращение шариков

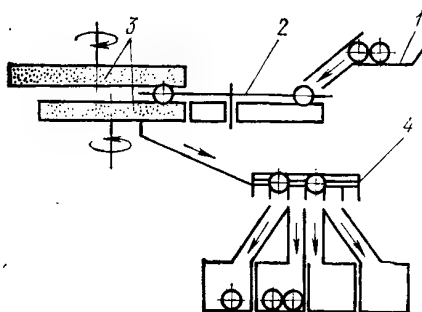


Рис. 20.2. Шлифование шариков абразивными кругами

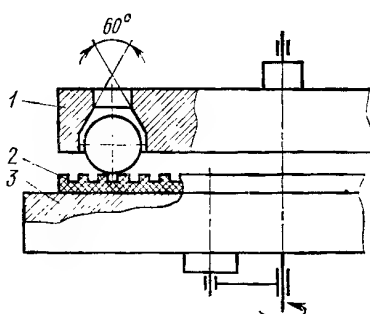


Рис. 20.3. Схема крепления шариков для среднего и мелкого шлифования

в шлифовальнике 1 осуществляется за счет кругового движения планшайбы 3 с наклеенным резиновым рельефным диском 2 вокруг смещенной оси шлифовальника 1. Движение шара в конусе происходит в трех направлениях, что обеспечивает получение хорошей сферической формы шариков. Суспензия микропорошков подается через цилиндрическую часть отверстий в шлифовальнике.

Во время четвертой операции отшлифованные шарики сортируются автоматически по диаметру. Шагающий механизм перетаскивает шарики по калиброванной накладной щели (рис. 20.4). Шарики проваливаются на различных участках длины щели, сортируясь на десять подпартий через 0,005 мм. Всего образуется 40 подпартий.

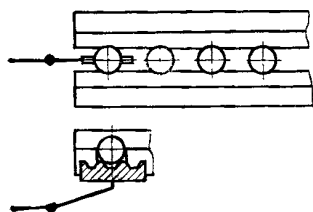


Рис. 20.4. Сортировка шариков по диаметру с помощью калиброванной накладной щели

Пятую операцию — полирование — выполняют в два перехода. На первом переходе смола инструмента смешана с опилками для твердости. После первого перехода шарики сортируются на вертикальном оптиметре, снабженном специальным приспособлением, по диаметру через 1 мкм. На втором переходе применяют мягкую смолу. Затем контролируют диаметр шариков

на ультраоптиметре с рассортировкой их диаметра через 0,1 мкм.

При полировании шарики помещают в канавку, проточенную в смоляном полировальнике 1 на глубину $\frac{1}{4}$ диаметра шарика

(рис. 20.5). Во избежание царапин между стеклянными шариками помещают шарики из полистирола. Канавка того же радиуса и глубины проточена в верхнем полировальнике 2, укрепленном на верхнем вращающемся шпинделе станка. Шарiki катятся по канавке и вращаются во всех направлениях, так как линейная скорость на внутренней и наружной сторонах канавки различна. Обработку ведут под нагрузкой с использованием полиритовой суспензии. Готовность деталей после полирования контролируют по времени обработки.

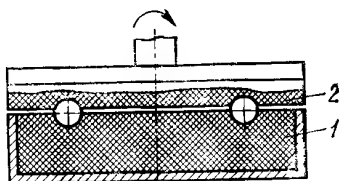


Рис. 20.5. Полирование шариков

Контроль диаметра шариков заменяют контролем их поверхности пробными стеклами. Это вполне возможно, так как погрешность измерения диаметра на ультраоптиметре меньше, чем при контроле пробным стеклом. Например, пусть $d=2$ мм, $\Delta d=0,0001$ мм, тогда $\Delta R=[(2 \cdot \Delta d)/d] \cdot 100=0,01\%$.

Это точнее, чем самые высокие требования к форме поверхностей для пробных стекол. С увеличением диаметра шариков точность изготовления возрастает.

Весь технологический процесс обработки шариков разбит на этапы — операции, кратные по времени. Процесс обработки построен по принципу автоматического получения и контроля размеров. Подготовка и ручные операции при изготовлении шариков сведены до минимума. Это одни из наиболее автоматизированных процессов изготовления сложных в обработке оптических деталей.

Обработку плоской поверхности ведут в блоке на стеклянной плоскопараллельной пластине 3. Шарiki 1 заливают смолой 2. Их базируют по поверхности пластины, установленной на шпинделе 4 шлифовально-полировального станка (рис. 20.6). Шлифование ведут методом свободного притира инструментом 5, установленным сверху, до получения необходимой толщины с допуском на нее порядка 0,01 мм при $N=1$, $\Delta N=0,2$. Толщину контролируют вместе с пластиной приспособления, а обработанную оптическую поверхность — пробным стеклом.

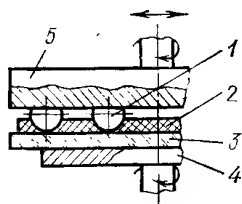


Рис. 20.6. Изготовление плоской поверхности у шариковых заготовок

20.3. Сетки и шкалы

Шкалы, сетки, миры, дифракционные решетки и другие штриховые изображения на стекле служат для измерения линейных и угловых размеров и наведения приборов на объект. Штрихи сетки наносят алмазным резцом, травлением или фотографированием.

Алмазный резец используют в делительных или копировальных

машинах для нанесения штрихов на стекле или на тонком слое металла, нанесенного на стекло.

При изготовлении сеток травлением штрихи прорезают стальным резцом в защитном слое лака или воска, нанесенного на поверхность стекла, а затем травят в парах плавиковой кислоты.

Фотографированием сетки изготовляют на фотослоях, нанесенных на стекло, иногда с последующим травлением или заполнением штрихов красителями или металлами испарением в вакууме.

Изготовление сеток травлением. Заготовкой является полированная с РI—РIV и $N=15$ пластина или диск из стекол, имеющих достаточную химическую стойкость, но хорошо поддающихся травлению (барритовые кроны, флнты).

Перед нанесением делений заготовку сетки тщательно промывают эфиром, затем вручную ватным тампоном наносят на поверхность, подлежащую травлению, слой кислотостойкого асфальтового лака толщиной около 3 мкм; сушат слой лака при 120°С в течение 5—10 мин с последующим постепенным охлаждением. Заготовку помещают на ручную или автоматическую делительную машину и после выдержки заготовки на машине в течение двух и более часов нарезают деления по лаку. Инструментом при нарезании делений служит стальной резец трапецеидального, квадратного или прямоугольного сечения. Для травления заготовку помещают в камеру, где обрабатывают в течение нескольких секунд парами 65—70%-ной плавиковой кислоты. По штрихам, где лак снят, стекло протравливается в глубину. Для нейтрализации заготовки промывают 3%-ным водным раствором кальцинированной соды. Лак удаляют бензином. После промывки и сушки под микроскопом с увеличением 60—100× контролируют качество травления штрихов. Заготовку покрывают натуральным пчелиным воском, термообработанным до необходимой вязкости.

Перед оцифровкой на пантографе наполняют штрихи лаковой смесью, которая делает их лучше различимыми. Шкалу оцифровывают и контролируют качество цифр под микроскопом при увеличении 60×. Травление цифр аналогично травлению штрихов. После удаления воска, промывки и сушки качество травления цифр проверяют под микроскопом.

Смесь цветного масляного лака, олифы, графита и сажи с помощью замши вручную втирают в углубления штрихов. Деталь сушат в термостате в течение 6—8 ч при 120°С, чтобы лаковая смесь затвердела. Цифры и штрихи наполняют красящей смесью и сушат не менее двух раз. Контролируют качество окраски штрихов и цифр под микроскопом с увеличением 60—100×. Контроль цены деления шкалы, ширины штриха и других требований чертежа осуществляют на компараторе ИЗП-2 или микроскопе УИМ-21, УИМ-23 или УИМ-29.

Изготовление шкал, сеток, растров фотохимическим способом. Чем сложнее рисунок, шире и разнообразнее форма штрихов, тем целесообразнее применять фотографические способы изготовления шкал. Фотоспособы заключаются в переносе изображения шкалы,

миры или других рисунков с негатива на стеклянную подложку — позитив. Негатив представляет собой уменьшенное в несколько сотен раз фотографическое изображение на пленке или пластине точного чертежа шкалы. Тщательно измерив и проконтролировав изображение на соответствие чертежу, с этого негатива контактными способом снимают фотокопии, служащие в дальнейшем рабочими негативами.

В зависимости от точности изготавливаемой шкалы к применяемым материалам и оборудованию предъявляют определенные требования. Масштаб изображения выбирают с учетом допусков на точность шкалы и фокусного расстояния объектива съёмочной камеры. Чертеж выполняют тушью. Съёмочной аппаратурой для изготовления негатива служит стационарная съёмочная камера, объективы которой имеют разрешающую способность больше 400 штрихов на 1 мм и дают изображение, свободное от дисторсии. Светочувствительные слои характеризуются разрешающей способностью, которая зависит от размеров кристаллов светочувствительного компонента, толщины слоя, условий освещения и процесса обработки. Широко применяемые слои хромированной желатины или хромированного поливинилового спирта имеют разрешающую способность 1200—1250 штрихов на 1 мм.

Технологический процесс изготовления шкал фотографированием состоит из нескольких операций. Подготовка поверхности стеклянных заготовок заключается в очистке их поверхности от загрязнений любым способом, включая обработку концентрированной азотной кислотой с дальнейшей промывкой и сушкой. Светочувствительный слой получают из двуххромовокислой соли калия $K_2Cr_2O_7$ и аммония $(NH_4)_2Cr_2O_7$ смешиванием с некоторыми органическими соединениями — желатиной, поливиниловым спиртом или альбумином. На поверхность сухой чистой заготовки наносят раствор, который после высушивания образует светочувствительный слой. Фотографическое изображение получают контактными копированием изображения шкалы на светочувствительном слое. Источниками света служат лампы накаливания, ксеноновые, ртутные, дуговые лампы. Время экспонирования устанавливают опытным путем. Так, при использовании лампы ДРШ-1000 при освещении 350 лк время экспонирования негатива на слое хромированной желатины составляет 7—10 мин. Проявление осуществляют в течение нескольких минут в теплой воде или этиловом спирте в зависимости от вещества основы фотослоя. При проявлении происходит вымывание незасвеченных участков изображения. Дубление слоя осуществляют растворами хромовых солей. Контроль качества изображения после тщательной промывки и сушки выполняют под микроскопом на соответствие чертежу или техническим условиям. Термообработку ведут в термошкафах. Защищают слой, наклеивая защитное стекло. При изготовлении многоцветных шкал детали с изображением, окрашенным в разные цвета, после термообработки склеивают, совмещая изображения.

Достоинства способа заключаются в простоте процесса, в отсутствии сложного специального оборудования при использовании готовых негативов, в возможности воспроизведения сложных рисунков, в рельефном изображении, что улучшает условия наблюдения. Недостатки способа: процесс является вредным; слои со временем имеют усадку и, следовательно, искажают изображение; материал быстро стареет; слои нестойки к действию влаги.

Существует способ изготовления сеток, называемый фотокерамическим, заключающийся в нанесении изображения сетки на стекло вплавлением при определенных температурах вещества слоя в стеклянную основу.

Изготовление дифракционных решеток нарезанием штрихов.

Дифракционная решетка — это прозрачная или отражающая плоская или вогнутая оптическая деталь, на поверхность которой с помощью делительной машины и резца нанесены равноотстоящие друг от друга штрихи определенного профиля. Количество штрихов может достигать 2400 шт. на 1 мм поверхности детали. Дифракционная решетка служит главным образом как диспергирующий элемент спектральных приборов.

Качество изображения спектральных линий, даваемых решеткой, зависит от точности относительного расположения, прямолинейности и четкости штрихов. На решетке, предназначенной для работы в видимой области спектра, допускаются местные периодические ошибки до 1—1,5% и накапливающаяся ошибка не более 10% от расстояния между штрихами.

Отражательные дифракционные решетки изготавливают на слоях алюминия толщиной 0,5—1 мкм, нанесенных с подслоем хрома в вакууме на подложку из стекла марки ЛК или МКР-1. Прозрачные решетки изготавливают на поверхности стекла марки Ф-1. У отражательных решеток рабочую поверхность стеклянной подложки полируют с $N=0,1 \div 0,2$, $\Delta N \leq 0,1$ и Р1. В пределах площади решетки на глубине подложки до 1 мм пузыри и свиля не допускаются.

Делительная машина наносит штрихи перемещением резца по подложке, между которыми он смещается на постоянную (шаг) решетки с помощью командных устройств. Основой большинства машин являются ходовые делительные винты, задающие с помощью гаек перемещение каретки с заготовкой решетки. Резцовая каретка смонтирована на станине и совершает возвратно-поступательное перемещение по направляющим, которые обеспечивают прямолинейность движения резца с высокой точностью без вибраций. Управление подъемом и опусканием резца относительно заготовки производится автоматически.

Машина работает непрерывно, безостановочно и без подналадки в течение десятков часов. За один оборот ведущего вала совершается полный цикл работы механизмов и наносится один штрих. В первую половину цикла производится подача заготовки на величину постоянной решетки. Одновременно резцовая каретка с приподнятым резцом устанавливается в исходное положение. После окончания подачи заготовки каретка движется в направлении ра-

бочего хода. Резец при этом опускается на заготовку и наносит штрих. Конец цикла нанесения штриха завершается подъемом резца.

Перед началом резания машина в течение нескольких часов работает на холостом ходу для выравнивания смазки, температуры, выбора люфтов. Нарезание одной решетки в зависимости от размеров и частоты делений производят от 30 до 150 ч. Деление производят под слоем масла для улучшения условий скольжения резца.

Для обеспечения высокой точности работы и сведения к минимуму влияния внешних помех делительные машины устанавливают в подвальных этажах внутри помещений со стенами, не выходящими на улицу. Машины устанавливают на фундаменте, не связанном со зданием. В помещении поддерживают постоянную температуру $19,5 \pm 0,1^\circ \text{C}$.

При изготовлении одной решетки в зависимости от ее размеров алмазный резец проходит путь от 3 до 50 км. Для изготовления резцов используют кристаллы алмаза массой от 0,2 до 0,5 кар. Кристаллы алмаза крепят в оправе зажимными накладками или пайкой твердыми припоями.

Форма головки резца определяется условиями работы, геометрическими параметрами штрихов, конструкцией резцового устройства и физико-механическими свойствами материала, на который наносят деления. Для изготовления дифракционных решеток применяют резцы, лезвие которых образуется при пересечении двух цилиндрических поверхностей одного радиуса. Заточку резцов производят на вращающейся чугуновой планшайбе, причем алмаз, закрепленный на каретке, совершает возвратно-поступательное перемещение по радиусу планшайбы и одновременно покачивается для придания затачиваемой грани цилиндрической формы. В процессе заточки форму цилиндров и режущую кромку на алмазе контролируют на микроинтерферометре.

Вогнутые дифракционные решетки изготавливают на сферических поверхностях, нанося штрихи на расстояниях, отсчитываемых по хорде. Деления производят резцом, который кроме перемещения в горизонтальной плоскости вместе с резцовой кареткой совершает движение в вертикальной плоскости, следуя за формой вогнутой поверхности заготовки. Вогнутые дифракционные решетки изготавливают резцами с лезвиями, имеющими форму круга, что позволяет на каждом участке штриха работать различными точками лезвия. Контроль дифракционных решеток производят по оптическим и спектральным характеристикам на соответствие техническому заданию. Каждая решетка имеет технический паспорт.

В оптическом приборостроении широко применяют реплики (копии-отпечатки) дифракционных решеток, изготавливаемых на желатиновых слоях. Оригинал дифракционной решетки покрывают раствором желатины. Затем подложку с пленкой желатины, на которой отпечатаны штрихи решетки, алюминуют в вакууме. Технологические процессы позволяют получать как негативные, так и

позитивные отпечатки дифракционных решеток с характеристиками, не уступающими оригиналу. Решетки, предназначенные для работы в тропиках, защищают термическим испарением или катодным распылением в вакууме слоя монокиси кремния. Этот процесс используют и для повышения стойкости решеток-оригиналов, предназначенных для снятия копий-реплик.

20.4. Очковая оптика

Очковые линзы изготовляют в массовом производстве. Заготовками для линз служат прессовки с общим припуском на одну сторону до 1 мм с отклонениями толщины по оси до 0,5 мм, диаметром до $\pm 0,3$ мм и глубиной залегания шамота до 0,4 мм.

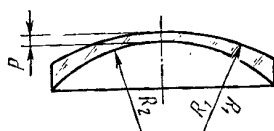
Допускаемые отклонения линз по толщине $\pm 0,25$ мм и по диаметру до 0,3 мм. Радиус кривизны оптических поверхностей линз выполняют с точностью до сотых долей миллиметра. Общие и местные погрешности формы поверхностей не контролируют. В табл. 20.1 и 20.2 приведены размеры неастигматических нефацетированных очковых линз диаметром $D=60$ мм и диоптрийностью от 0 до $\pm 5,0$ дптр.

В прогрессивных технологических процессах изготовления очковых линз применяют поточные линии, состоящие из станков для грубого и мелкого шлифования, полирования, промывки и лакирования и станков, оснащенных фасонными алмазными инструментами для обработки контура линз под оправу; станочные автоматические и полуавтоматические загрузочные устройства; алмазные пятакровые инструменты для шлифования; полировальники из пористого пластического материала; вакуумное крепление заготовок; легкоплавкие сплавы металлов для крепления линз при обработке.

Поштучное изготовление линз. Прессовки поштучно подаются автоматическими загрузочными устройствами на станки для грубого шлифования типа Алмаз-70-II. Крепление заготовок на шпинделе станка осуществляется вакуумным присосом. Трубчатый алмазный инструмент вращается с частотой до 7000 об/мин, а заготовка — с частотой 300—500 об/мин при обильной подаче эмульсии. Цикл обработки одной поверхности линзы длится 30 с, при этом с поверхности линзы удаляется припуск толщиной до 1 мм. Контроль толщины ведут по индикатору выборочно.

Мелкое шлифование осуществляют на двухшпиндельных станках типа СПШ-50, имеющих кинематическую схему обработки, аналогичную применяемой на станках 1АЛ-5, Алмаз-70-II с встречным направлением вращения верхнего и нижнего шпинделей. Применяют многоэлементный таблечный инструмент сферической формы. Алмазные таблетки крепят на гриб или чашку клеем, чаще всего эпоксидным, выдерживающим усилия шлифования при давлении до 2 атм и температуре до 250°С. Заготовку устанавливают без зажима в оправке, имеющей резиновое прижимное кольцо, прилегающее к линзе. Линза удерживается в оправке усилием давления инструмента. Пространство внутри кольца заполнено пластмассой,

20.1. Положительные очковые линзы



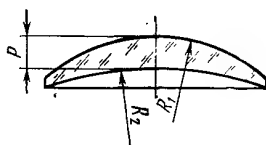
Задняя вершинная рефракция, + дптр	R_1	R_2	d
0,0	80,54	79,98	1,5
0,0	80,91		2,5
0,0	81,28		4,0
0,25	77,45		1,5
0,5	74,82		
0,75	72,28		
1,0	69,98		2,0
1,25	67,76		
1,5	65,62		
1,75	63,68		
2,0	61,80		
2,25	60,26		2,5
2,5	58,61		
2,75	57,02		
3,0	55,53		
3,25	54,33		3,0
3,5	52,97		
3,75	51,76		
4,0	50,58		
4,25	45,60	69,98	3,3
4,5	44,77		3,5
4,75	43,85		
5,0	43,05		3,7

на которую опираются средние зоны заготовки. Частота вращения нижнего шпинделя с заготовкой 300—350 об/мин во встречном направлении. Цикл обработки — 20 с. СОЖ — эмульсия.

Полирование осуществляют на двухшпиндельных станках типа СПШ-50. Полировальником служит подложка из двухмиллиметрового листа пористого пластического материала — полиуритана, наклеенная на дюралевый корпус инструмента. Один такой полировальник рассчитан на обработку 2000 поверхностей.

Полировальник укреплен на верхнем шпинделе и вращается с

20.2. Отрицательные очковые линзы



Задняя вершинная рефракция, — дптр	R_1	R_2	d
0,0	65,46	65,01	1,4
0,0	65,76		2,1
0,0	66,07		3,0
0,25	67,61		1,6
0,5	69,82		
0,75	72,28		
1,0	74,82		1,5
1,25	77,63		
1,5	80,54		
1,75	83,75		
2,0	87,10	57,94	1,4
2,25	77,80		
2,5	80,72		
2,75	83,95		1,3
3,0	87,50		
3,25	91,20		
3,5	95,50		
3,75	100,00		1,2
4,0	104,95		
4,25	96,83	53,95	
4,5	101,62		
4,75	106,66		
5,0	112,46		1,1

частотой 800—900 об/мин. При мелком шлифовании и полировании осуществляется возвратно-поступательное перемещение инструмента. Заготовка укреплена на нижнем шпинделе в оправке и вращается во встречном направлении с частотой 300—350 об/мин. Полирование одной стороны длится 50—60 с. Обработку ведут с подачей полировальной суспензии из окиси церия, имеющей 40—50° С.

Линзы промывают в кассетах щелочными растворами с последующей обработкой обезвоживающей жидкостью и сушкой. Защит-

ное лакирование обработанной стороны производят пульверизатором.

Этим заканчивается изготовление одной стороны. Затем линзы поступают на обработку второй стороны, и весь процесс повторяется. Лак на поверхности первой стороны растворяют, и детали промывают.

Контроль толщины при грубом и мелком шлифовании осуществляют выборочно индикатором с отсчетом до 0,01 мм, чистоту обработанных поверхностей проверяют визуально невооруженным глазом. Вершинную рефракцию контролируют после изготовления линзы на диоптриметрах с одновременным нанесением лаком точки, по которой центрируют линзу при установке в оправу очков.

По изложенной технологии на 45 станках грубого шлифования, 24 станках мелкого шлифования и 72 полировальных станках выпускается до 6 млн. шт. простых очковых линз в год.

Блочное изготовление линз. Существует технологический процесс блочного изготовления очковых линз. Прессовки наклеивают на разогретые гриб или чашку через марлю под прессом. Блоки с заготовками транспортером подаются на операцию грубого шлифования. Грубое шлифование осуществляют алмазным трубчатым инструментом на станках типа Алмаз-70 с обильной подачей смазочно-охлаждающей жидкости. Грубым шлифованием удаляют шамотный слой, посечки, заколы.

Мелкое шлифование осуществляют на десятишпиндельных станках свободным притиром последовательно в два перехода микропорошками М28 и М14. Полирование проводят на таких же станках с использованием смоляных полировальников и полирита при нагрузке на верхнее звено до 4—8 Н.

После обработки первой стороны детали разблокировывают и передают на операцию наклейки для обработки второй стороны. Весь технологический процесс изготовления повторяется для второй стороны. Время изготовления одной поверхности одного блока из семи заготовок составляет около 1 ч и складывается из наклейки заготовок на гриб или чашку семи заготовок за 20—30 с, грубого шлифования — 5 мин, мелкого шлифования — 15—20 мин и полирования — 50 мин. По копиру, соответствующему конфигурации оправы, линзы по контуру обрабатывают алмазным инструментом.

20.5. Ампулы уровней

Уровень — прибор, служащий для определения угла наклона плоскости относительно горизонта. Форма, конструктивные особенности и точность отсчета определяют технологию изготовления ампул уровней. Технологический процесс изготовления ампул уровней состоит из следующих операций.

Поверхность, по которой перемещается пузырек, называют рабочей. Рабочие поверхности бывают сферическими у круглых

(рис. 20.7, а, б) или торическими у цилиндрических ампул (рис. 20.7, в).

Круглые ампулы со сферическими рабочими поверхностями изготавливают из стеклянных трубок прессованием и использованием стеклодувных работ. Точность радиуса кривизны рабочих поверх-

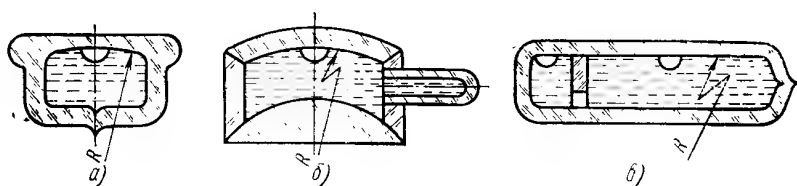


Рис. 20.7. Основные виды ампул уровня

ностей определяется точностью изготовления матрицы. Круглые ампулы с повышенной точностью радиуса кривизны рабочей поверхности изготавливают свариванием верха и дна с кольцом корпуса ампулы.

Цилиндрические ампулы с торической рабочей поверхностью изготавливают из стеклянных трубок шлифовкой их внутренней поверхности. Инструментом для шлифования служит стальной стержень, изогнутый в приспособлении до кривизны, соответствующей кривизне рабочей поверхности ампулы. Заготовку — цилиндрическую трубку с подшлифованными и фасетированными торцами, надевают на инструмент — стальной стержень. Шлифование производят на станках, обеспечивающих вращательное и возвратно-поступательное перемещение заготовки относительно ее оси по инструменту. Шлифование ведут последовательно шлифпорошками М28, М7. Рабочую поверхность не полируют. Нанесение отсчетных шкал на ампулы уровней производят гравированием. Контроль ампул совершают косвенным путем по отклонениям пузырька воздуха по шкале контрольного прибора-экзаменатора. Так оценивают чистоту и точность изготовления рабочей поверхности ампул. Заполнением жидкостью и герметизацией капилляров заканчивается технологический процесс изготовления ампул уровней.

20.6. Интерференционные фильтры и зеркала резонаторов лазеров

Лучшие по оптическим свойствам интерференционные фильтры и зеркала в настоящее время получают термическим испарением веществ в вакууме с последующей конденсацией паров и образованием тонких пленок на оптических деталях, называемых в данном случае подложками.

Конструкции фильтров и зеркал. Промышленностью выпускаются различные типы интерференционных фильтров: узкополосные, полосовые, отрезающие и др. Технологические процессы их изготовления идентичны. Различие состоит лишь в количестве, толщине и чередовании тонких пленок; режимах испарения веществ, обра-

зующих пленки; конструкции технологической оснастки вакуумных камер.

Узкополосный интерференционный светофильтр предназначен для выделения узкого спектрального интервала длин волн от 10 нм и менее. Спектральная характеристика светофильтра и его основные параметры показаны на рис. 20.8. Фильтр состоит (рис. 20.9) из подложки 1, частично прозрачных,

чаще серебряных (Ag), зеркал 2 и 4, промежуточного слоя диэлектрика 3. Вся система заклеивается цветным стеклом 5. Такие фильтры при-

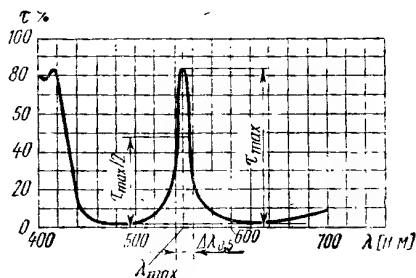


Рис. 20.8. Спектральная характеристика узкополосного многослойного интерференционного светофильтра

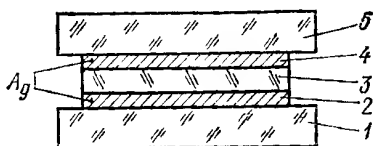


Рис. 20.9. Конструкция металлодиэлектрического узкополосного светофильтра

ято называть металлодиэлектрическими. Избирательное пропускание фильтра объясняется многократным отражением света от зеркал 2 и 4, ограничивающих промежуточный слой диэлектрика 3.

Величина светопропускания фильтра $\tau_{\max}$ (см. рис. 20.8) зависит от параметров зеркал (коэффициентов отражения, пропускания, поглощения и рассеяния) и промежуточного слоя диэлектрика (оптической толщины, поглощения и рассеяния света в веществе слоя).

Полуширина или спектральный интервал пропускания $\Delta\lambda_{0,5}$ светофильтра зависит от значения длины волны максимального пропускания λ_0 , оптической толщины и показателя, поглощения рассеяния промежуточного слоя и параметров зеркал.

Наибольшего коэффициента отражения зеркал на основе пленок металлов при частичном, очень малом пропускании можно достичь лишь с помощью пленок серебра. Лучшие серебряные зеркала позволяют получить фильтр в видимой области спектра с полушириной пропускания $\Delta\lambda_{0,5} \geq 100 \text{ \AA}$ и светопропусканием $\tau_{\max} \approx 15 \div 45\%$ при $\rho_{\text{зерк}} \approx 0,95$.

Более узких фильтров и больших значений величины пропускания получить не удается из-за поглощения света в слоях серебра, а увеличение оптической толщины промежуточного слоя диэлектрика приближает к основному вторичные максимумы пропускания, что создает трудности выделения основного максимума с помощью цветного стекла.

Выпуск промышленностью металлодиэлектрических фильтров для видимой области спектра до настоящего времени преобладает

над выпуском фильтров с улучшенными оптическими характеристиками — диэлектрическими узкополосными светофильтрами.

Диэлектрический узкополосный светофильтр такой же, как и металлодиэлектрический фильтр, но имеет зеркала не металлические, а диэлектрические (рис. 20.10). Оптическая толщина каждого слоя зеркала равна четверти длины волны, а опти-



Рис. 20.10. Конструкция диэлектрического узкополосного светофильтра

ческая толщина промежуточного слоя диэлектрика кратна половине длины волны пропускания фильтра. Вторичные максимумы пропускания таких фильтров срезают приклеиванием пластин цветного стекла или приклеиванием пластин с нанесенными на них специальными диэлектрическими многослойными интерференционными отрезающими филь-

трами. Фильтры ИК-области спектра не склеивают, а устанавливают и герметизируют в металлических оправах.

Теоретически при одинаковых параметрах зеркал, отсутствии поглощения, рассеяния в веществах слоев зеркал и промежуточного слоя светопропускание фильтра $\tau_{\max}$ равно единице. Однако на практике значение $\tau_{\max}$ всегда меньше единицы из-за поглощения в веществах слоев; ошибок в толщине слоев при их изготовлении; неравномерности толщины слоев по площади фильтра. Эти дефекты возникают из-за несоответствия требованиям химической чистоты исходных веществ и технологии изготовления светофильтра.

Для уменьшения полуширины пропускания $\Delta\lambda_{0,5}$ фильтра необходимо увеличивать коэффициент отражения зеркал (увеличивая количество слоев) и порядок светофильтра, т. е. кратность оптической толщины промежуточного слоя.

Систему слоев, составляющих фильтр, принято записывать, например, в виде № ПВ... ВН/К2В/НВ... НВ, где № — общее число слоев, составляющих фильтр; П — подложка; В и Н — соответственно слои оптической толщиной в четверть длины волны из веществ с высокими и низким показателями преломления (см. рис. 20.10); К — порядок фильтра.

Исходными данными для выбора системы слоев служат λ_0 — длина волны пропускания; $\Delta\lambda_{0,5}$ — полуширина фильтра; $\tau_{\max}$ — коэффициент светопропускания на длине волны λ_0 . Табл. 20.3 иллюстрирует рекомендованные системы слоев и основные параметры фильтров для видимой области спектра. Испаряемые вещества диэлектрики ZnS с $n=2,3$ — вещество В, фтористый магний MgF_2 с $n=1,39$ — вещество Н, подложка П — стекло К8. Коэффициент пропускания $\tau_{\max}$ приведен только для системы слоев на подложке без учета пропускания цветного стекла или вспомогательной интерференционной системы, срезающей вторичные максимумы пропускания. Все параметры даны для лучей, падающих по нормали к плоскости фильтра.

20.3. Рекомендуемые системы слоев

Условное обозначение системы слоев фильтра	Число слоев	Порядок К	$\Delta\lambda_{0,5}\lambda_0$	τ_{max}
11ПВН . . . В-2Н-В . . . НВ	11	1	0,017 — 0,02	0,90
13ПВН . . . Н-2В-Н . . . НВ	13	1	0,012 — 0,015	0,85
15ПВН . . . В-2Н-В . . . НВ	15	1	0,07 — 0,08	0,80
17ПВН . . . Н-2В-Н . . . НВ	17	1	0,045 — 0,006	0,80
19ПВН . . . В-2Н-В . . . НВ	19	1	0,002 — 0,004	0,70
21ПВН . . . Н-2В-Н . . . НВ	21	1	0,0015 — 0,0025	0,60
21ПВН . . . Н-2×2В-Н . . . НВ	21	2	0,0012 — 0,0019	0,60
21ПВН . . . Н-3×2В-Н . . . НВ	21	3	0,001 — 0,0013	0,50

Примером конструкции интерференционного зеркала может служить система слоев на подложке, используемая в качестве резонаторов лазеров (рис. 20.11). Благодаря отражениям на границах раздела слоев получается большое число интерферирующих лучей. Когда слои имеют оптическую толщину в четверть длины волны и разность фаз соседних интерферирующих лучей на границе слоев равна 2π , то все лучи интерферируют на отражение.

Зеркало состоит из чередующихся слоев с большим (В) и низким (Н) показателями преломления, причем выбирают $n_B > n_{\text{подл}} > n_H$. Коэффициент отражения зеркала растет с увеличением числа слоев. Нечетные слои оказывают большее влияние на отражающую способность зеркала в целом. Вот почему чаще всего зеркало имеет нечетное число слоев. Вычисление коэффициента отражения сводится к суммированию всех интерферирующих лучей. Численные расчеты удобнее осуществлять на ЭВМ.

Табл. 20.4 иллюстрирует изменение коэффициента отражения зеркал резонаторов лазеров в зависимости от числа слоев для двух пар чередующихся веществ. Слои резонаторов лазеров видимой и ближней инфракрасной областей спектра изготовляют из диэлектриков сернистого цинка ZnS — вещество В и фтористого магния MgF_2 — вещество Н на подложке из стекла К8, кварца КВ,

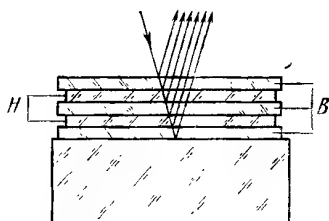


Рис. 20.11. Конструкция многослойного интерференционного зеркала резонатора лазеров

20.4. Коэффициенты отражения зеркал

Вещества слоев В и Н	Число слоев							
	1	3	5	7	9	11	13	15
29И, 24И	0,32	0,65	0,85	0,93	0,97	0,985	0,99	0,995
27И, 18И	0,40	0,80	0,94	0,98	0,99	0,995	—	—

КИ. Слои резонаторов лазеров с длиной волны излучения $\lambda_0 > 1,5$ мкм изготавливают из диэлектриков трехсернистой сурьмы Sb_2S_3 — вещество В и фтористого стронция SrF_2 — вещество Н на подложках из кварца КИ или кристаллов.

Указанные в табл. 20.4 коэффициенты отражения могут незначительно (на 1—2%) изменяться в зависимости от значений показателей преломления исходного вещества, подложки и условий нанесения слоев.

Оптимальные условия формирования пленок. Свойства пленок, составляющих многослойное интерференционное покрытие, зависят от выбора и обработки веществ для напыления; материала и вида испарителей; вакуума и скорости испарения веществ; геометрии расположения и кинематики перемещения подложек; способа и точности технологического контроля толщины пленок; последовательности проведения технологических приемов при изготовлении заданного вида покрытия.

При выборе веществ для напыления следует руководствоваться следующими требованиями:

1. Слои должны обладать максимальной прозрачностью в рабочей области спектра.

2. Вещество должно быть классифицировано не хуже ч. д. а. (чистое для анализа).

3. Испаряемое вещество должно быть соответствующим образом обработано: высушено, брикетировано, гранулировано и доставлено в вакуумную лабораторию запаянным в пробирке или тщательно упакованным во флаконе или специальном пластиковом пакете, т. е. «приготовлено для оптических целей» — есть такое понятие в практике оптических производств.

4. Материалы слоев должны быть близкими по физическим и химическим свойствам к материалу подложки и друг другу.

5. Слои не должны изменять свои оптические свойства со временем, не должны «стареть».

Для изготовления различных конструкций интерференционных светофильтров и зеркал, имеющих чередующиеся слои двух веществ, применяют следующие пары веществ (табл. 20.5).

20.5. Пары веществ для светофильтров и зеркал

Область спектра	Вещество с высоким показателем преломления (вещество В)	Вещество с низким показателем преломления (вещество Н)
УФ	PbF_2 — фтористый свинец	Na_3AlF_6 — криолит
Видимая	ZnS — сернистый цинк	MgF_2 — фтористый магний
ИК	Sb_2S_3 — трехсернистая сурьма	SrF_2 — фтористый стронций
	Te — теллур $Sb_2S_3 + Te$ — смесь трехсернистой сурьмы и теллура	

При выборе материала испарителя необходимо учитывать следующие требования:

1. Давление собственных паров материала испарителя при температуре испарения вещества слоев должно быть ничтожно мало.

2. Не должно возникать химического взаимодействия испарителя с испаряемым веществом.

3. Материалы испарителей должны обладать хорошей смачиваемостью поверхности испаряемым веществом.

4. Материал испарителя должен обладать высокой теплопроводностью.

Механической обработкой (давлением, навивкой) испарителю придают необходимый вид и форму. Для испарения таких веществ, как MgF_2 ; SrF_2 ; Na_3AlF_6 и формованного ZnS , используют формованные «лодочки», изготовленные из вольфрамовой ленты толщиной 0,03—0,05 и шириной 10 мм. Испарение Sb_2S_3 ; Te и смеси $Te + Sb_2S_3$ осуществляют из фарфорового тигля, нагреваемого вольфрамовой спиралью, выполненной в виде усеченного конуса и расположенной в верхней части тигля. Порошкообразный ZnS испаряют из кварцевых или корундовых тиглей. Подогревателем тигля служит вольфрамовая спираль из проволоки 0,6—1 мм. Спираль может располагаться по всей внутренней поверхности тигля или в верхней его части. Возможна замена вольфрамового испарителя на молибденовый. Фтористый свинец PbF_2 испаряют из платиновых тиглей, так как вольфрамовые и молибденовые испарители при нагреве взаимодействуют с PbF_2 и разрушаются.

Размер испарителей выбирают в зависимости от количества и толщины слоев данного вещества, наносимых за одну откачку вакуумной камеры. Испаритель наполняют таким количеством вещества, которое необходимо для проведения технологического процесса за одну откачку вакуумной камеры. Вторично нагреваемые до температур испарения вещества увеличивают поглощения в слоях за счет частичного разложения и окисления.

Подложки фильтров УФ, видимой и ИК-области спектра должны обладать максимальной прозрачностью в рабочем диапазоне фильтра; иметь максимальное поглощение вне рабочего спектрального диапазона фильтра с целью упрощения конструкции фильтра и уменьшения количества интерференционных систем, срезающих побочные максимумы пропускания; удовлетворять требованиям химической стойкости, влаго-, термостойкости и механической прочности. Подложки с высоким показателем преломления должны быть просветлены на рабочую область спектра для уменьшения потерь на отражение.

Подложки фильтров — это плоскопараллельные пластины круглой формы диаметром от 10 до 60 мм и толщиной 1,5—3,0 мм. Материал подложек: для фильтров УФ-области спектра — КУ-1, стекла, УФС1,2,6; для фильтров видимой области спектра — стекло К8, кварцевое стекло КВ; для фильтров ИК-области спектра — различные марки цветных стекол, кварцевое стекло КИ, кристаллы NaF , LiF , CaF_2 , Ge , Si и др. Допустимые отклонения поверхностей

подложек от плоскостности следующие: до $\varnothing 30$ мм — $N=3$, $\Delta N=0,5$; свыше $\varnothing 30$ мм — $N=5$, $\Delta N=1$. Допустимая клиновидность $\theta \leq 3'$. Чистота полированных поверхностей до $\varnothing 30$ мм не хуже IV класса, свыше $\varnothing 30$ мм — не хуже V класса.

Подложки зеркал резонаторов лазеров — это плосковыпуклые, плоскоогнутые или плоскопараллельные пластины диаметром 20—60 мм и толщиной 5—15 мм. В технически обоснованных случаях могут изготавливаться подложки диаметром до 200 мм и толщиной до 30 мм. Материал подложек зеркал лазеров видимой и ближней ИК-области спектра — стекло К8, кварцевые стекла КВ, КИ. Допустимое качество изготовления поверхностей подложек до $\varnothing 50$ мм $N=0,3$, $\Delta N=0,1$; $\varnothing 60$ мм — $N=0,5$, $\Delta N=0,5$. Непараллельность плоских поверхностей не более $10''$. Чистота поверхностей не хуже IV, V классов. В технически обоснованных случаях возможны более жесткие требования по качеству исполнения и чистоте поверхностей подложек.

Оптимальные технологические факторы при напылении. Величина вакуума в камере для испарения влияет на количество примесей и структуру пленки. Недостаточный вакуум вызывает преждевременный выход из строя ионизационных датчиков давления; увеличение токов накала испарителей за счет частичного окисления, а затем разложения испаряемых веществ, что вызывает увеличение поглощения и другие отрицательные явления в слоях пленок; неуправляемое распределение толщины слоев по поверхности подложки из-за столкновений молекул и атомов пара с молекулами остаточных газов и изменения траектории полета.

Поэтому следует руководствоваться следующими экспериментально отработанными рекомендациями. Испарение фторидов MgF_2 , SrF_2 , Na_3AlF_6 необходимо осуществлять при давлениях порядка $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па. Это объясняется тем, что пары фторидов идут от испарителя в форме облака сравнительно высокого давления, увлекающего за собой молекулы остаточных газов. Столкновения между молекулами пара фторидов и остаточного газа уменьшают концентрации и скорость молекул пара на границе облака, вследствие чего адгезия (связь между подложкой и слоем) ухудшается. Другие вещества ZnS , Sb_2S_3 и т. д. необходимо испарять при давлении не хуже $6,6 \cdot 10^{-3}$ Па. Испарение веществ при меньших давлениях приводит к большей чистоте слоев и к их более плотной структуре.

Для воспроизведения стабильных и удовлетворительных как по оптическим, так и механическим свойствам фильтров и зеркал необходимо знать и использовать оптимальную скорость испарения веществ слоев. Скорость испарения связана с температурой накала испарителей. Быстро испаренные слои ZnS сильно поглощают свет. Это объясняется разложением испаряемого вещества при высоких температурах, когда в слой могут быть вкраплены свободные атомы цинка. При высокой скорости нанесения образуются большие кристаллы ZnS , что увеличивает коэффициент рассеяния света слоями. Кроме того, большие температу-

ры накала испарителей могут привести к разлетанию испаряемого вещества, уменьшению его количества и перенесению механических частиц парами на подложку. В то же время быстро нанесенные слои механически прочнее. Медленно нанесенные слои обладают хорошими оптическими характеристиками, но имеют более рыхлую структуру и механически не прочны. Для таких веществ, как ZnS и MgF_2 , экспериментально отработана оптимальная скорость испарения соответственно 3—10 и 6—15 Å/с.

Прочность покрытий фильтров и лазерных зеркал соответствует IV группе. Известно, что такие технологические приемы, как нагрев подложек, обработка подложек высоковольтным разрядом, улучшают прочностные свойства покрытий. Однако при изготовлении фильтров и лазерных зеркал такие приемы не применяют, так как их проведение ухудшает оптические характеристики покрытий (увеличивается рассеяние и поглощение света в слоях).

В чертеже на узкополосный интерференционный светофильтр указывают значение длины волны максимального пропускания и ее допустимое смещение в виде узкого спектрального интервала $\lambda_0 \pm \Delta\lambda$. В этом случае допустимое значение толщины каждого слоя, составляющего фильтр, определяют из отношения $\Delta\lambda/\lambda_0$, выраженного в процентах. Если же в чертеже не указано значение величины допустимого смещения длины волны пропускания, в качестве этого интервала принимают значение полуширины фильтра. Тогда допуск на толщину слоев фильтра определяют из отношения $\Delta\lambda_{0,5}/\lambda_0$, выраженного в процентах. Допуск на толщину слоев, составляющих узкополосный интерференционный фильтр, в общем случае равен $\pm (0,5 \div 1)\%$ от исходной толщины. Допуск на толщину слоев, составляющих полосовой или отрезающий фильтры, равен $\pm 3\%$ от исходной толщины. Допуск на толщину слоев, составляющих интерференционное зеркало резонаторов лазеров, равен $\pm 5\%$ от исходной величины. Такие отклонения в толщине слоев не приводят к заметному уменьшению коэффициентов отражения на длине волны излучения лазера, а лишь уменьшают спектральную область отражения. Приведенные значения допустимых отклонений в толщине слоев гарантируют получение годных фильтров и зеркал независимо от того, существуют ли ошибки во всех слоях или в части из них. Однако чем ближе слой к подложке, тем меньше сказывается погрешность его толщины.

Испарение диэлектриков осуществляют из испарителей («лодочек» или тиглей) по эмиссионным характеристикам, близким к точечным. Максимальная толщина слоя образуется в плоскости расположения подложек непосредственно над испарителем. Далее толщина слоя убывает по косинусному закону. Поэтому равнотолщинный слой можно получить только на подложках небольших размеров, удаляя по возможности подложки от испарителя и применяя соответствующую кинематику перемещения подложек относительно испарителя в технологической оснастке вакуумной каме-

ры. В целом, если неравнотолщинность слоев по площади подложки не выходит за пределы допусков на толщину слоев, указанных выше, обеспечивается выпуск годной продукции.

При изготовлении зеркал резонаторов лазеров подложки располагают в держателе, имеющем вид вогнутой сферы или по форме близкого к сфере усеченного многогранника. Радиус сферы находится в центре плоскости расположения испарителей (см. рис. 15.4). При нанесении слоев держатель с подложками вращается вокруг своей оси. Таким образом обеспечивается равнотолщинность слоев и усредняются дефекты толщины слоев, вызванные смещением испарителей с оси вращения.

При изготовлении фильтров подложки располагают в плоскости на максимально возможном удалении от плоскости расположения испарителей. Подложки смещают с оси вакуумной камеры и при нанесении слоев держатель подложек вращают вокруг оси вакуумной камеры, а подложки планетарно вокруг собственной оси.

Для проверки правильности взаимного расположения подложек и испарителей и кинематики перемещения подложек вновь созданную конструкцию опробуют. При этом изготавливают требуемое зеркало или фильтр и тщательно измеряют их спектральные характеристики по центру и краю подложек. Если разница в положении λ_0 не превышает у зеркала 1%, а у фильтра 0,1%, такая оснастка годна к употреблению. При наличии дефектов, превышающих указанные, следует изменением расстояния испарителей от оси вращения или высоты держателя подложек добиться необходимой равномерности.

Технологический контроль толщины слоев. Осевую зону вакуумной камеры часто используют для размещения устройства фотометрического контроля толщины слоев.

При изготовлении зеркал используют однолучевой фотометр (рис. 20.12). Свет от источника лучистой энергии 1 проходит конденсатор 2, контрольный образец 3 («свидетель»), интерференционный светофильтр 4, объектив 5 и падает на приемник лучистой энергии 6. Назначение конденсатора 2 — максимально использовать тело накала источника излучения 1. Фильтр 4 предназначен для выделения узкой спектральной полосы в качестве рабочей. Объектив 5 заполняет излучением всю приемную площадку приемника лучистой энергии 6.

Информацию об изменении толщины слоя получают в виде сме-

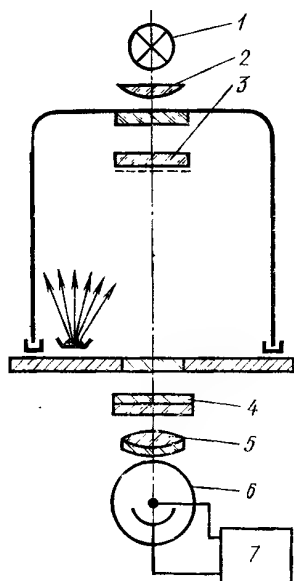


Рис. 20.12. Схема однолучевого фотометра технологического контроля толщины слоев

щения стрелки или луча на шкале гальванометра 7 по изменению пропускания контрольного образца 3 при образовании на нем слоя.

Пропускание образца 3 с толщиной слоя меняется по синусоидальному закону. Значение максимальной амплитуды, соответствующей образованию слоя оптической толщины в четверть длины волны, получают в зависимости от значений показателей преломления вещества слоя, подложки и заданной длины волны λ_0 .

Данная схема контроля обеспечивает требуемую точность изготовления слоев, образующих интерференционное зеркало резонаторов лазеров, т. е. $\pm 5\%$ от значения требуемой толщины. Данная точность достигается применением стабилизированного питания источника излучения; выбором фильтра с длиной волны пропускания, равной $(0,92 \div 0,94) \lambda_0$, минимальным фоном и без вторичных полос пропускания; опытом оператора, наносящего покрытие.

При изготовлении фильтров необходимо на порядок повысить точность контроля толщины слоев. Это достигается модификацией однолучевой схемы или применением двухлучевой схемы контроля. Разновидность однолучевой схемы контроля показана на рис. 20,13, где 1 — источник излучения, 2 — модулятор, 3 — образец, 4 — монохроматор, 5 — приемник излучения, 6 — предусилитель, 7 — фотометрический измеритель толщины, 8 — регистрирующее устройство, 9 — лампа опорного сигнала, 10 — предусилитель опорного сигнала.

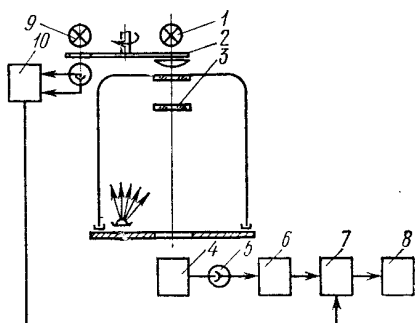


Рис. 20.13. Модификация схемы однолучевого фотометра технологического контроля толщины слоев

Разновидность двухлучевой схемы показана на рис. 20.14. После прохождения контрольного образца световой поток падает на светоделитель 1. Часть потока проходит на интерференционный светофильтр 2, объектив 3, модулируется модулятором 4 и собирается на приемнике лучистой энергии 5. Другая часть потока отражается от светоделителя 1, зеркала 6, проходит фотометрический клин 7, интерференционный фильтр 8, объектив 9, а в моменты совпадения прорезей в модуляторе с осью данной ветви модулятор 4 и собирается на приемнике лучистой энергии 5. Таким образом, на приемник лучистой энергии 5 поочередно падают световые потоки, прошедшие разные ветви устройства контроля. Интерференционные фильтры 2 и 8 пропускают длины волн соответственно λ_1 и λ_2 , причем длины волн фильтров выбраны таким образом, чтобы $\lambda_1 < \lambda_0 < \lambda_2$. Фотометрический клин 7 предназначен для выравнивания значений пропускания фильтров.

Точность контроля повышается с увеличением разности $\lambda_1 - \lambda_2$. При выборе значений λ_1 и λ_2 необходимо учитывать спектральную

излучательную способность источника излучения и спектральную чувствительность приемника лучистой энергии, что накладывает ограничения на выбор значений λ_1 и λ_2 фильтров 2 и 8.

Информацию о достижении заданной толщины слоя в четверть длины волны получают, например, на экране осциллографа 10 по

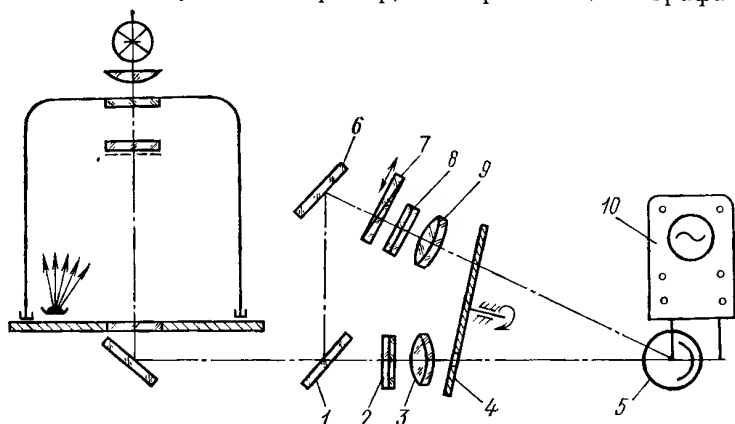


Рис. 20.14. Вариант схемы двухлучевого фотометра технологического контроля толщины слоев

исчезновению переменной составляющей сигнала, т. е. при достижении равенства световых потоков из обеих ветвей устройства.

Уменьшение полуширины фильтров 2 и 8 до значений $\Delta\lambda_{0,5} = 10 \div 15 \text{ \AA}$ также уменьшает погрешность контроля толщины слоев. Существенно повышает процент годных изделий контроль толщины слоя, образующегося непосредственно на подложке, а не на контрольной пластине. Такая технологическая оснастка существует и используется.

Операции нанесения слоев. Технологический процесс содержит следующие операции и приемы:

1. Загрузку испарителей, укрепление подложек и контрольных пластин. Юстировку и проверку работоспособности устройства контроля. Проверку движений технологической оснастки.

2. Откачивание воздуха из камеры и создание вакуума, максимально возможного на данной вакуумной установке, но не хуже $1,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$. Ориентировочное время откачки около 30 мин.

3. Удаление газов в испаряемых веществах при введенном экране 3 (см. рис. 15.4), предохраняющем подложки от оседания загрязнений, и температурах испарителей 4 на $50\text{—}100^\circ\text{C}$ меньше температур испарения веществ. Ориентировочное время на операцию не менее 5 мин на каждый испаритель. При этой операции давление в камере увеличивается. Удаление газов прекращается после восстановления в камере исходного давления, о чем судят по данным контроля остаточного давления с помощью манометрических ламп 12.

4. Отводят экран 3 и проверяют работу прибора контроля тол-

щины, устанавливая начало отсчета — исходную величину светопропускания. Вводят экран.

5. Подают накал на испаритель с веществом первого слоя покрытия. Токи накала, соответствующие температурам испарения веществ, определяют в предварительных экспериментах. После начала испарения открывают экран 3.

6. Процесс напыления контролируют с помощью устройства контроля толщины слоя. При достижении заданной толщины напыление прекращают, введя экран 3 и сняв накал с испарителей. Время напыления зависит от свойств испаряемого вещества, оптимальной скорости испарения и заданной толщины слоя. Ориентировочное время напыления четвертьволнового слоя для покрытий видимой области составляет 3—10 мин.

7. Подают накал на испаритель с веществом второго слоя покрытия и все этапы (см. п. 5 и 6) повторяют.

8. Нанесение последующих слоев поочередно осуществляют аналогично (см. п. 5, 6 и 7).

9. После нанесения всех требуемых слоев вакуумную камеру отключают от вакуумной насосной системы.

10. Разгерметизируют колпак 13, выгружают подложки с покрытиями и осуществляют контрольные операции. Визуально контролируют качество по цвету в отраженном свете, чистоту и наличие видимых дефектов. Методом лаковой пленки на одной подложке из данной партии проверяют адгезию и прочность покрытия. На спектрофотометрах контролируют соответствие спектральных характеристик техническому заданию.

Годные лазерные зеркала поступают на прямо-сдаточный контроль. Годные подложки с покрытиями фильтров поступают на последующие операции. Подложка с покрытиями заклеивается цветным стеклом, которое срезает побочные максимумы пропускания, а также герметизирует покрытия, защищая их от механических и климатических воздействий. Если интерференционные системы, составляющие фильтр, нанесены на две или более подложки, то эти подложки склеивают друг с другом через бумажные кольцевые прокладки покрытиями внутрь. Склеивают фильтры оптическими клеями бальзамино-М, акриловым, а также эпоксидным клеем, состоящим из двух частей смолы ЭД5 и одной части полиэтиленполиамин (отвердителя). Ответственные фильтры герметизируют по торцевой цилиндрической поверхности в герметичной камере, через которую пропускают сухой азот. Некоторые конструкции фильтров проходят временное и температурное старение. Их направляют потребителю через определенное время (до одного месяца) после изготовления и обработки в термошкафах по особым режимам. Прошедшие старение фильтры дополнительно контролируют, измеряя спектральные характеристики.

Приемо-сдаточный контроль осуществляют, измеряя спектральные характеристики фильтров на спектрофотометрах СФД-8, СФД-2, спектрометрах ИКС-14 или ИКС-21. Контролируют фильтры на воздействие внешних условий, оговоренных техниче-

скими условиями. На каждый фильтр составляют паспорт, в котором указывают заводской номер; требования технического задания; соответствие фильтра каждому пункту этих требований; гарантии изготовителя.

При прямо-сдаточном контроле зеркал измеряют спектральную характеристику на спектральных приборах, оценивают возможность работы зеркала в качестве резонатора лазера. Эта оценка предусматривает изучение суммарных потерь на поглощение, рассеяние и пропускание, вносимых в резонатор данным лазером.

Схема проверки показана на рис. 20.15, а. Схема использует

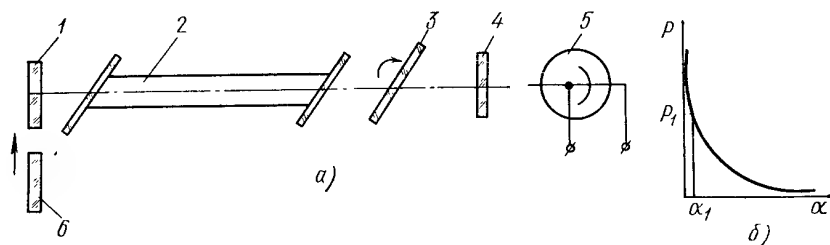


Рис. 20.15. Определение потерь, вносимых в резонатор лазера вновь изготовленным зеркалом

зависимость выходной мощности лазера от потерь в резонаторе. Лазер контрольной установки состоит из газоразрядной трубки 2 и образцовых зеркал резонатора 1 и 4. Внутрь резонатора введена плоскопараллельная пластина 3, имеющая возможность изменять свое угловое положение относительно оси лазера. Материал и качество изготовления пластины не имеют дефектов.

Для данного лазера измеряется и строится (рис. 20.15, б) зависимость изменения выходной мощности P от потерь α в резонаторе. При этом потери в резонатор вносятся наклоном пластины 3 относительно оси лазера. Исходным положением пластины 3 служит расположение нормали к ее поверхности по отношению к оси лазера под углом Брюстера; в этом случае потери в резонатор не вносятся и лазер излучает максимальную выходную мощность, регистрируемую приемником лучистой энергии 5.

После построения зависимости пластину 3 устанавливают в исходное положение. Снимают образцовое зеркало 1 и на его место устанавливают контролируемое зеркало 6. Схему тщательно юстируют. Измеряют максимальную выходную мощность P_1 лазера. По градуировочной кривой (см. рис. 20.15, б) определяют величину потерь α_1 , вносимых в резонатор лазера контролируемым зеркалом 6 по отношению к параметрам лазера с образцовым зеркалом 1. Данная проверка важна, так как потери величиной около 5% приводят к срыву излучения гелий-неоновых лазеров. Интерференционные зеркала, предназначенные для работы в резонаторах твердотельных лазеров, такой проверке не подвергают.

20.7. Детали волоконной оптики

Разнообразные детали волоконной оптики используют для передачи света, оптического изображения, изменения масштаба изображения и других целей. В соответствии с назначением детали выполняют в виде жгутов волоконно-оптических световодов с нерегулярной укладкой волокон — осветительные световоды; с регулярной укладкой волокон — световоды для передачи изображения, фоконов — стержней световодов из волокон с переменной по длине площадью поперечного сечения, например стержней в виде конуса, и т. д.

Основой всех деталей волоконной оптики служит одножильный световод (рис. 20.16). Он состоит из световедущей стеклянной жилы 1 и светоизолирующей стеклянной оболочки 2. Марки стекол, а следовательно, и их показатели преломления выбраны с учетом обеспечения многократного полного внутреннего отражения лучей на границе жилы — оболочки. Это достигается, когда показатель преломления материала жилы больше показателя преломления материала оболочки.

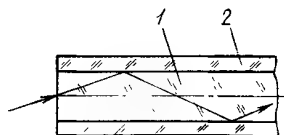


Рис. 20.16. Одножильный световод

Для увеличения светопропускания материал жилы имеет минимальный коэффициент светопоглощения, не превышающий 0,05—0,1% на 1 см длины жилы. Диаметр сечение одножильного световода от 5 до 100 мкм зависит от его назначения. Толщина оболочки составляет около 1 мкм. Волоконно-оптические жгуты, выпускаемые промышленностью, имеют длину световедущих жил до 1,5 м.

При изготовлении жгутов волоконной оптики производят вытяжку единичных световедущих жил из расплава стекол; укладку или спекание их; заделку жгутов в оболочки и наконечники; обработку их торцов; контроль параметров. На рис. 20.17 показан гиб-

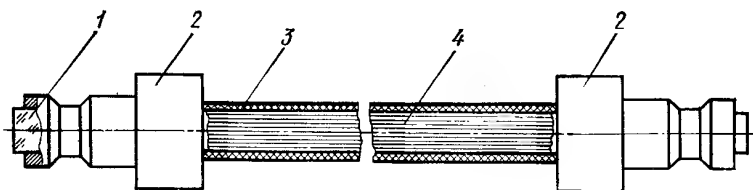


Рис. 20.17. Гибкий волоконный жгут

кий жгут оптических волокон 4, заделанный в синтетическую оболочку 3 из поливинилхлоридной трубки. Наконечники 2 на концах жгута предназначены для его крепления при эксплуатации. Торцы 1 жгута — плоские полированные поверхности.

При изготовлении фоконов заделку в оболочки и наконечники не производят, но дополнительно выполняют местное растяжение

разогретой заготовки спеченного пучка волокон вдоль оси, чтобы обеспечить заданное изменение поперечного сечения пучка по длине.

Вытяжку единичных световедущих жил осуществляют по схеме, показанной на рис. 20.18. Два концентрично расположенных тигля

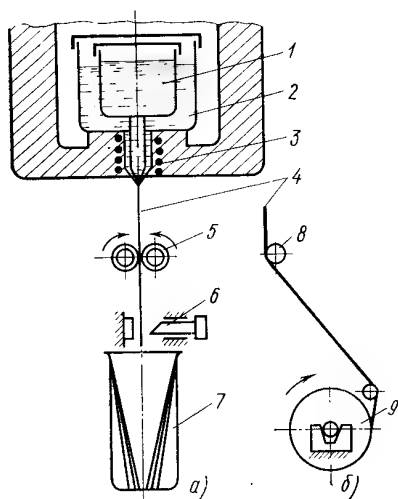


Рис. 20.18. Схема вытяжки:
а — жестких, б — гибких единичных световодов

заполнены расплавом стекла жилы 1 и оболочки 2. Каждый тигель разделен на отдельные камеры (на рисунке не показаны) перегородками, образуя систему сообщающихся сосудов. Такая конструкция тиглей способствует лучшему освещению стекла и уменьшению дефектов волокна. В дне тиглей имеются два коаксиально расположенных подогреваемых нагревателем 3 патрубка. Сечение этих патрубков определяет поперечное сечение световодов и может быть круглым, квадратным или шестигранным.

При включении нагревателя 3 стекла вытекают из патрубков и стекло оболочки 2 обволакивает стекло жилы 1. Материалы стекло подбирают по физико-химическим свойствам такими, чтобы на поверхности их раздела при

изготовлении световода не происходило кристаллизации, не было пузырности и других аналогичных явлений, ухудшающих параметры световолокна по светопропусканию, светорассеянию, механической прочности.

Соприкосновение вытекающего из патрубков стекла с окружающим воздухом способствует охлаждению и образованию твердой стеклянной нити 4. Нить 4 заправляют в ролики 5. Вращающиеся ролики 5 вытягивают стеклянную нить 4. Причем заданный диаметр нити регулируется скоростью вытягивания и изменением температуры нагревателя 3.

При вытягивании жестких световодов нить 4 заданной длины отрезается ножом 6 и падает в накопитель 7. При вытягивании гибких световодов выходящая из патрубков стеклянная нить 4 проходит замасливающее устройство 8 (рис. 20.18, б) и с помощью управляющего ролика послойно с заданным шагом наматывается на бобину 9. Заполненную волокном бобину снимают. Волокно обжимают струбцинами и разрезают на жгуты.

~~Патрубки нити разправляют и одним концом (рис. 20.19) закрепляют в обжимку 2 виброустройства, в котором жгут подвергают вибрациям с одновременной промывкой подмыленной дистиллированной водой 1. При этом из жгута выпадают поломан-~~

ные волокна 3 и смывается масляная пленка. Жгут переворачивают, зажимают другой его конец и операцию повторяют. Процесс удаления поломанных волокон и виброукладки заканчивают промывкой чистой дистиллированной водой и сушкой. Затем торцы жгута проклеивают клеящим составом и жгут помещают в вакуумную термопечь, где клей полимеризуется, а постоянная откачка атмосферы из печи способствует удалению летучих компонентов клеящего вещества на основе эпоксидных смол. По торцу жгут разделяют, раскалывая ножом на заготовки заданного размера.

Жгут заделывают в оболочку и наконечники (см. рис. 20.17) и передают на шлифование и полирование торцов. Торцы жгутов шлифуют алмазными планшайбами и полируют на станках типа ШП в специальных приспособлениях (рис. 20.20). Используя планшайбу, торцы жгутов устанавливают строго на одной высоте и зажимают наконечники 1 в призматические зажимы 2. К приспособлению приклеивают вспомогательные стеклянные

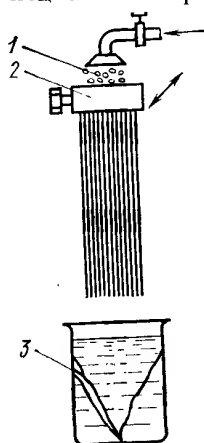


Рис. 20.19 Схема виброукладки и промывки жгута

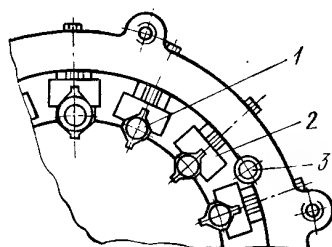


Рис. 20.20 Технологическое приспособление для закрепления жгутов при шлифовании и полировании торцов

пластины 3, способствующие правильной установке и обработке торцов жгутов. Так изготавливают жгуты для светопередачи.

Жгуты для передачи изображения требуют дополнительно проведения операций холодной перемотки волокон с бобин 9 (см. рис. 20.18) с одновременной регулярной укладкой их в кольцевые полосы на барабанах больших размеров. Полоски проклеивают, снимают с барабана, набирают в пакет и спекают под давлением в пресс-форме. Спеченный жгут разрезают алмазным кругом и далее обрабатывают по изложенной выше схеме.

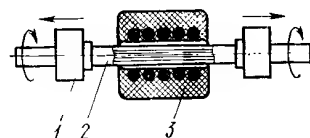


Рис. 20.21. Схема вытяжки фоконов

Спеченные жгуты могут быть использованы также для изготовления фоконов. Заготовку — спеченный жгут 2 (рис. 20.21) поме-

щают в кольцевую электропечь 3. Концы жгута зажимают в цанговые зажимы 1. При нагреве печи и заданной зоны заготовки до температур пластической деформации цанговые зажимы под действием пружин растягивают жгут в осевом направлении. Образованный таким образом двойной конус жгута снимают после охлаждения с установки, разрезают алмазным кругом. Торцы фокон шлифуют и полируют обычными способами.

Световолоконные изделия контролируют по светопропусканию на фотометрических установках, проверяют разрешающую способность с помощью просмотра изображения миры, торцы контролируют с помощью пробного стекла или интерферометра, чистоту поверхностей оценивают визуально.

20.8. Оптические детали из полимеров

Оптические детали конденсоров, луп, линз, а также оптические детали сложной формы, например растры, линзы Френеля, к которым не предъявляют высоких требований по разрешающей способности, изготавливают из пластических материалов — полимеров.

Существует два промышленных способа изготовления оптических деталей из полимеров: литье под давлением и прессование в пресс-формах. Исходными материалами являются полимеры марок ЛЕО-М и ЛПТ-1, где буква Л обозначает литьевой. Материалом для прессования является полистирол блочный марки Д — органическое стекло.

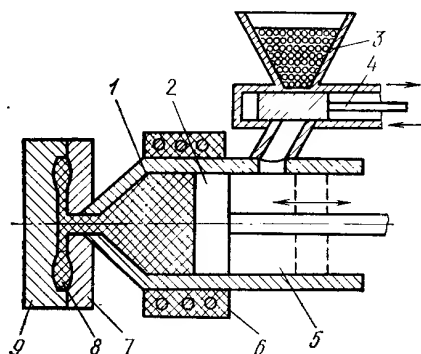


Рис. 20.22. Схема действия литьевой машины — термопластавтомата

Полимерная оптика в 10—12 раз дешевле и легче стеклянной, менее чувствительна к ударам. Однако такие недостатки материала и деталей,

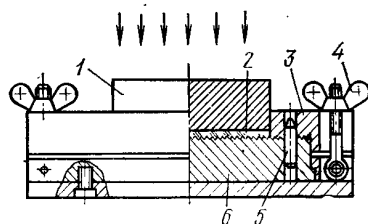


Рис. 20.23. Схема пресс-формы для горячего прессования линз Френеля

как оптическая неоднородность, легкость царапания и истирания, ограниченная ($\pm 100^\circ \text{C}$) температура эксплуатации, усадка, старение, невозможность получения классов чистоты выше PV и формы $N < 20$ ограничивают применение полимерной оптики.

Литье под давлением. Общая схема процесса заключается в подаче под давлением полимера, нагретого до состояния текучести,

в форму литьевой машины. После прессования и охлаждения форма открывается и детали выталкиваются из нее вместе с литниковой системой. Детали отделяются от литниковой системы в штампах или обрезкой нагретой нитью накала.

Схема литьевой машины — термопластавтомата показана на рис. 20.22. В загрузочный бункер 3 засыпают гранулы полимера. Дозирующее устройство 4 передает необходимое их количество в цилиндр 5. Поршень 2 уплотняет исходный материал. Под действием электронагревателей 6 материал 1 нагревается до $180\text{--}200^\circ\text{C}$ и становится текучим. Далее поршень 2 подает массу в охлаждаемую водой форму, состоящую из подвижной 9 и неподвижной 7 частей. Подвижная часть 9 отходит, и детали 8 вместе с литниковой системой выталкиваются наружу. Время изготовления группы деталей с момента подачи разогретого материала в форму до выталкивания составляет несколько минут.

Рабочие поверхности подвижной 9 и неподвижной 7 частей формы, образующие конфигурацию деталей, тщательно шлифуют и полируют. От качества и чистоты их обработки зависит качество и чистота получаемых деталей. Каналы машины, по которым подается и протекает исходный материал, также тщательно полируют и хромируют, чтобы не допустить завихрения и других неуправляемых явлений при подаче материала. Машина работает в полуавтоматическом режиме. Все перемещения частей осуществляются автоматически с установкой режимов с помощью реле времени.

Прессование. Общая схема процесса заключается в получении сложной рабочей поверхности оптической детали прессованием плоских заготовок в пресс-формах. Требуемую форму детали задает матрица пресс-формы. Заготовки получают механической обработкой листового материала.

Схема пресс-формы для прессования линз Френеля показана на рис. 20.23. Плоскую заготовку 2 кладут на матрицу 6. Пуансон 1 устанавливают в отверстие съемной плиты 3, центрирование которой осуществляют по фиксаторам 5. Форму собирают в пакет, скрепляя откидными болтами 4. Пакет разогревают до температур пластической деформации материала ($100\text{--}120^\circ\text{C}$) и прессуют с помощью пресса под давлением $20\text{--}25$ МПа. Пресс-форма охлаждается водой. Давление снимают, пресс-форму разбирают и удаляют с деталей облой.

21. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

21.1. Основные понятия и определения

Ручная обработка оптических деталей, которая ранее преобладала в производстве, сейчас вытесняется обработкой на механизированных и автоматизированных станках.

Механизацией называют такое направление развития производства, при котором мускульный труд рабочего заменяется ра-

ботой машин или механических устройств. Механизация может быть частичной и комплексной (или полной) в зависимости от того, какая часть производственного процесса механизирована. При малой механизации механизмируют перемещение заготовки из одной позиции в другую или крепление детали и т. д. **Комплексная механизация** предполагает механизацию всех основных, вспомогательных, установочных и транспортных операций, при этом рабочий только управляет станком (включение — выключение).

Автоматизация — ступень развития производства, при которой человек освобождается также от управления исполнительной машиной, осуществляющей производственные операции. Примером может служить автоматизированное производство заготовок линз на станках Алмаз-70, 1АЛ-2 и др. **Частичной автоматизацией** называют автоматизацию отдельных приемов или их определенной совокупности. Например, автоматическое выключение станка после выполнения определенного производственного цикла или автоматическая подача суспензии на станках типа ШП при полировании на них оптических деталей. **Комплексная автоматизация** предполагает автоматизацию всех функций управления производственным процессом. Человек осуществляет только наладку оборудования, контроль за его работой и смену программ.

Автомат — рабочая машина, которая при осуществлении технологического процесса производит все рабочие и холостые ходы цикла обработки, кроме контроля и наладки. Примером автоматов могут служить станки Алмаз-70, 1АЛ-2 и др., снабженные автоматическими загрузочными устройствами для подачи заготовок линз в зону обработки.

Полуавтомат — машина, работающая в автоматическом рабочем цикле, для повторения которого требуется вмешательство рабочего.

Автоматическая линия — система автоматов и средства транспортирования и управления, расположенных в технологической последовательности и автоматически выполняющих весь комплекс операций с определенным ритмом, кроме контроля и наладки. Создание автоматических линий рационально только для массового производства. В производстве оптических деталей автоматические линии не используют.

Поточная линия — комплекс основного, вспомогательно-го и транспортного оборудования, установленного в соответствии с последовательностью выполнения технологического процесса. Поточные линии могут быть частично или комплексно-механизированными. Оборудование поточных линий может быть любым. Это и автоматы, и полуавтоматы, и просто механические станки, обслуживаемые рабочими. Передача заготовок и деталей от одного рабочего места к другому выполняется транспортерами или же партиями вручную. На оптических заводах, выпускающих оптические приборы и детали крупными сериями, используют поточные линии. Это поточные линии для механической обработки линз, призм и пластин.

Уровень механизации и автоматизации производства определяется коэффициентами уровня механизации K_m и автоматизации K_a : $K_m = T_m/T_p \cdot 100\%$, где T_m — время машинного труда; T_p — время ручного труда; $K_a = T_a/T_o$, где T_a — время работ, выполненных автоматически; T_o — общее время работ. На оптических и приборостроительных заводах $K_m = 30 \div 40\%$, $K_a = 3 \div 12\%$.

Производство оптических деталей — очень сложный процесс и имеет ряд существенных особенностей, затрудняющих внедрение механизации и автоматизации. Оптические детали выпускают небольшими сериями и очень большой номенклатуры (сотнями наименований). Кроме того, оптические детали очень хрупкие и при автоматической обработке невозможно применять бункерные загрузочные устройства такие, как для металлических деталей. При обработке оптических деталей используют много вспомогательных материалов: промывочных жидкостей, наклеечных смол и т. д. Несмотря на все эти особенности, автоматические и полуавтоматические устройства находят все более широкое применение для предварительной обработки плоских и сферических поверхностей, их шлифования и полирования, центрирования линз и для многих других работ.

21.2. Автоматизация заготовительных операций

Контур призм и пластин в массовом и серийном производстве обрабатывают на специальных станках алмазным инструментом. Обрабатываемые заготовки закрепляют в зажимных приспособлениях пакетом или склеивают в столбики. Для призм простого контура и размером до 160 мм применяют специальные станки.

Заготовки призм с предварительно обработанными параллельными гранями собирают (склеивают по 4—5 шт.) в столбик 1 (рис. 21.1, а), который крепят в станке оправками: верхней 2 и нижней 3. Головка верхней оправки 2 — круглая (рис. 20.1, б), а

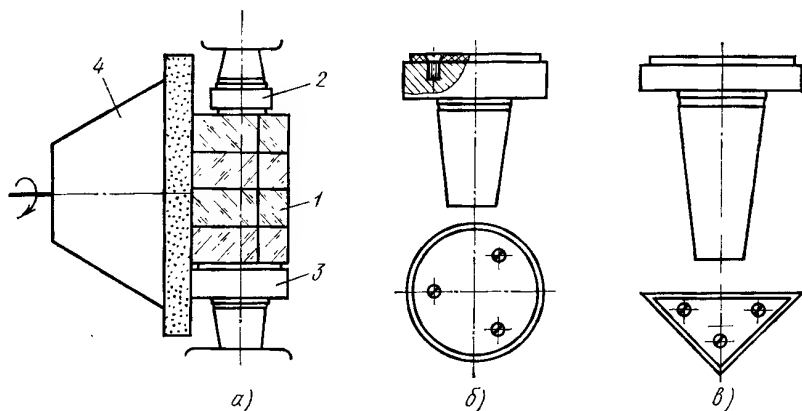


Рис. 21.1. Обработка столбика призм

нижняя имеет контур, аналогичный контуру обрабатываемых призм (рис. 21.1, в).

Столбик призм зажимают автоматически с помощью специальной гидросистемы, предварительно выставив его по шаблону. Инструментом является алмазный чашечный круг 4 типа АЧК диаметром 80, 120 или 160 мм, зернистостью 125/100, вращающийся с частотой $n_{ин} = 2400 \div 4800$ об/мин.

Станок снабжен делительным диском и системой кулачков. Делительный диск задает программу для станка при обработке призм. Для каждой призмы, имеющей определенную конфигурацию, устанавливают свой делительный диск. Система кулачков в процессе обработки обеспечивает направление подачи инструмента, а также поворот столбика призм вместе с оправками и определяет момент включения вторичного врезания и «подскока», т. е. резкого перемещения инструмента. Скалка обеспечивает момент включения рабочего хода или холостого хода, т. е. обеспечивает ступенчатую скорость при обработке столбика призм.

Весь слой припуска снимается инструментом за один рабочий ход. Причем в процессе обработки одной грани происходит дополнительная подача инструмента в поперечном направлении к рабочей подаче алмазного инструмента. Это происходит следующим образом.

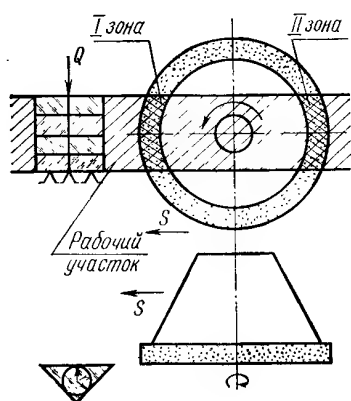


Рис. 21.2. Работа шлифовального круга

У алмазного инструмента (рис. 21.2) при обработке столбика призм имеется рабочий участок, который определяет скалку. Инструмент обрабатывает столбик призм сначала I зоной, а затем II зоной при продольной подаче s . При обработке I зоной снимается припуск в ~ 1 мм. В момент, когда обработка I зоной закончилась, а II зоной еще не началась, происходит дополнительная подача инструмента. После этого инструмент начинает обработку столбика призм II зоной и снимает оставшийся припуск $\sim 0,5$ мм. После окончания обработки инструмент возвращается вправо, скользя по обработанной поверхности (подчистка поверхности), и устанавливается в исходное положение, после чего столбик призм поворачивается поворотным устройством и все остальные грани обрабатываются аналогично.

Если в контур призмы вписывается окружность радиусом r , то обработку ведут, как было указано выше. Простота обработки обеспечивается тем, что не надо менять положение инструмента относительно обрабатываемых граней столбика призм с оправками, так как при повороте это расстояние постоянно и равно r .

Но если в контур обрабатываемой призмы нельзя вписать окружность радиуса r , обработка несколько усложняется. После об-

работки радиуса r , обработка несколько усложняется. После об-

работки первой грани столбика призм (рис. 21.3), когда расстояние от центра окружности, вписанной между параллельными гранями, равно r , осуществляется с помощью кулачка, установленного на делительном диске, «подскок» инструмента на расстояние $(R-r)$. Это позволяет вести обработку второй грани. Таким образом обрабатывают все грани столбика призм по контуру.

На станке можно обрабатывать призмы с размером грани до 160 мм; при этом диаметр вписанной окружности от 8 до 80 мм,

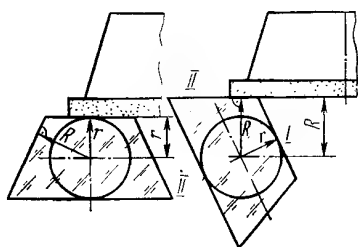


Рис. 21.3. Схема обработки столбика четырехгранных призм

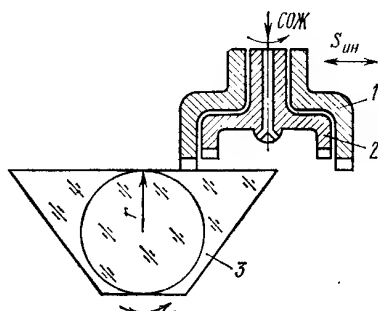


Рис. 21.4. Обработка двойным алмазным кругом

углы призм между гранями до 150° , высота столбика из призм от 3 до 120 мм, а число граней призмы до 12; погрешность обработки $\pm 3^\circ$.

Усовершенствованная модель такого станка позволяет обрабатывать призмы с погрешностью углов до $\pm 20''$, пирамидальностью на длине столбика в 100 мм не более 0,02 мм и с более низкой шероховатостью.

Все это было достигнуто благодаря применению специального двойного алмазного инструмента (рис. 21.4).

При прямом продольном перемещении стола наружный инструмент 1 снимает основной припуск на обработку грани, при обратном ходе стола выдвигается внутренний инструмент 2 и происходит тонкое шлифование грани столбика 3 с доводкой плоскостности.

Для оптических деталей типа призм и пластин размером более 50 мм, имеющих сложный контур, а также радиусы скругления, целесообразно в серийном производстве применять обработку на фрезерных станках с программным управлением. Фрезерный станок-полуавтомат СФ-7 с программным управлением выполнен на базе вертикального консольно-фрезерного станка и для обработки заготовок оптических деталей снабжен специальным алмазным инструментом и приспособлением для закрепления заготовок.

Станок оснащен числовой фазоимпульсной системой программного управления типа ФС-2К с заданием информации на стандартную магнитную ленту. Программное управление обеспечивает перемещение заготовки относительно оси шпинделя инструмента

одновременно по трем координатам: в продольном, поперечном и вертикальном направлениях.

Система управления позволяет вручную вводить коррекцию программы на отклонение фактического диаметра инструмента от расчетного в пределах $\pm 0,5$ мм. После окончания обработки заготовки по заданной программе магнитная лента автоматически перематывается в исходное положение.

Подготовку программы начинают с разработки карты наладки. На этой карте построен контур обрабатываемой заготовки и путь движения инструмента от исходной точки, которая принята за нулевую.

Траекторию движения инструмента разбивают на прямолинейные и радиусные участки и для каждого участка в таблицы заносят информацию в двоичной системе о координатах точек траектории, форме траектории и технологических параметрах обработки. Полученную информацию переносят на перфорационных машинах с таблицы на перфокарту и закладывают в ЭВМ, которая выдает типовое решение программы для заданного случая. Перфолента с ЭВМ на специальном дешифраторе преобразуется в запись на магнитную ленту, которая поступает на станок для реализации обработки.

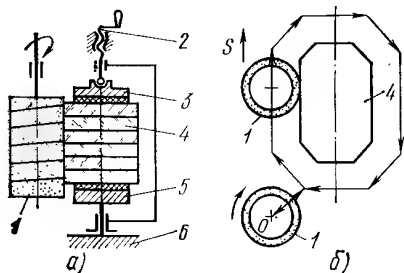


Рис. 21.5. Обработка на станке СФ-7

На рис. 21.5, а изображена схема обработки контура пакета заготовок на станке СФ-7. Пакет заготовок 4 прижимают к сменной прокладке 5 неподвижной плиты стола 6 с помощью винта 2 через сферический подпятник 3. Прокладка 5 выполнена по форме контура обрабатываемого пакета заготовок, имея размеры на 0,5—1 мм меньше размеров детали. Алмазный инструмент 1 сборной конструкции составлен из кругов типа АПП диаметром 125 мм, скрепленных штифтами в пакет. Инструмент вращается с частотой от 31,5 до 1600 об/мин и перемещается по контуру пакета заготовок 4 (рис. 21.5, б) с подачей s до 400 мм/мин. После того как инструмент проделал весь путь, он приходит в исходное положение (точку O). Погрешность обработки на станке СФ-7 до $\pm 0,05$ мм.

Для двусторонней обработки параллельных сторон призм создан специализированный станок-полуавтомат. Прессовки призмы 1 устанавливают и закрепляют с помощью пружинных упоров 2 в медленно вращающемся сепараторе 3, частота вращения которого около 1 об/мин (рис. 21.6). Обработку производят двумя парами алмазных чашечных кругов диаметром 160 мм, расположенными одна за другой и вращающимися с частотой $n_{ин} = 2800$ об/мин.

Первая пара алмазных кругов 4 с зернистостью 250/200—160/125 служит для черновой обработки и снимает припуск 1—1,5 мм с

каждой поверхности призмы. Вторая пара 5 с зернистостью 100/80—80/63 обеспечивает окончательный размер призмы и шероховатость поверхности по Ra в пределах 2,5 мкм.

Требуемую величину размера A призм получают установкой расстояния между алмазными кругами 4а, 4б и 5а, 5б с помощью кольца 6. Сепаратор 3 имеет 28 гнезд для установки заготовок призм. Съем обработанной призмы и установка прессовки занимает

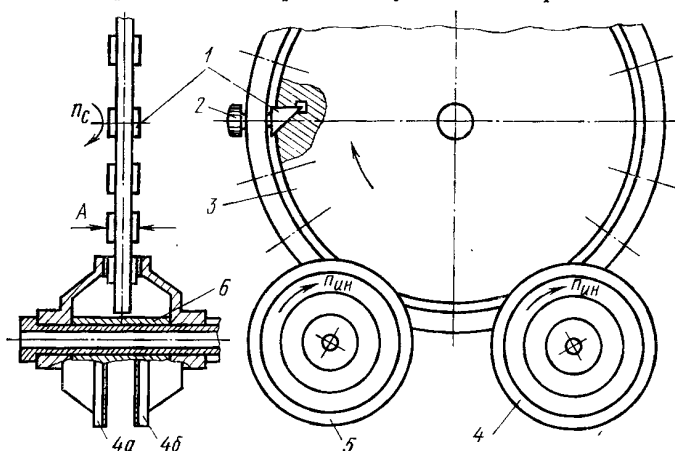


Рис. 21.6. Двустороннее шлифование призм

около 10 с. Обработку призм производят за один оборот сепаратора (60 с). Для каждого вида призм необходим специальный сепаратор.

21.3. Автоматизация вспомогательных операций

Производство оптических деталей характеризуется большим количеством вспомогательных операций. Это наклеивание (блокирование) оптических деталей, лакирование для защиты полированных поверхностей, промывка и др. Наиболее трудоемкие операции блокирования и промывки в настоящее время частично или полностью механизированы и автоматизированы.

Автоматизация блокирования линз. В серийном производстве смоляные подушки изготовляют и приклеивают к заготовкам диаметром 30—50 мм на полуавтоматической установке НП-2 (рис. 21.7). На заготовки 1, разогретые до 60—80° С, накладывают металлические оправы 2 и устанавливают их в гнезда дискового магазина 3. Диск поворачивается на некоторый угол α , перемещая заготовку в рабочую зону. В тот момент, когда заготовка с оправой останавливается под мундштуком 7 бачка 5, происходит заполнение оправы расплавленной наклеочной смолой 6. Температура смолы в бачке поддерживается автоматически с помощью электроннагревателя 8. Количество смолы, попадающее в оправу, регулируется дозирующим клапаном 9.

Продолжая поворачиваться, диск перемещает заготовку со смоляной подушкой 4 к лотку 10, имеющему в своей нижней части вырез. Продвигаясь по лотку, заготовка с подушкой проваливается в вырез и попадает в бачок с водой, где окончательно остывает,

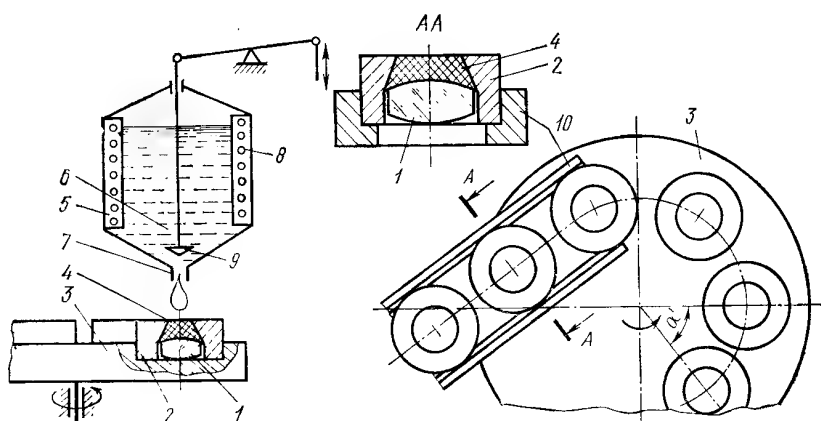


Рис. 21.7. Автомат для наклейки смоляных пробочек на линзы

оправа перемещается дальше в зону загрузки полуавтомата и используется для последующей заготовки. Производительность полуавтомата до 1500 шт. заготовок в час.

Для разборки блоков линз применяют ультразвуковую полуавтоматическую установку типа УЗР-2 (рис. 21.8), которая состоит из ультразвукового генератора с магнитострикционным преобразователем, стола с пневмоприводом и приспособления для крепления блока линз. Блок 2 устанавливают линзами в сторону резинового буфера 4. Пневмоцилиндр 6 поднимает приспособление 5 с блоком до соприкосновения с магнитостриктором 1. Под действием ультразвуковых колебаний линзы 3 отскакивают от прокладок и попадают на поролон стола. Время разблокирования около 8 с. После окончания рабочего цикла стол с блоком опускается и полуавтомат выключается.

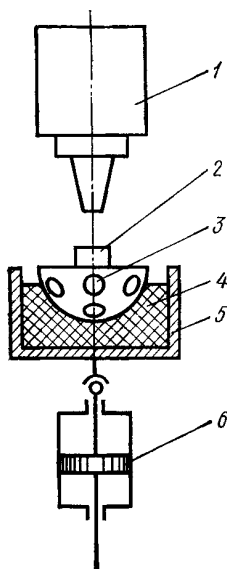


Рис. 21.8. Ультразвуковой разблокиратор

Автоматизация промывки. На заготовительных участках расклеивание столбиков призм, пластин и промывку их поверхности от наклеенных компонентов выполняют на специальном полуавтомате (рис. 21.9). В качестве промывочной жидкости используют горячий 5%-ный содовый раствор.

Столбики заготовок и отдельные заготовки оптических деталей укладывают в металличе-

ские сетчатые корзинки 4. Загрузку производят вне полуавтомата вручную и вешают их на барабанное устройство 7 через окно 3. Медленно поворачиваясь, барабан 7 погружает корзинки в раствор 2, который подогревается с помощью нагревателей 5, расположенных в нижней части бака 1. Для слива промывочной жидкости служит кран 6.

Смену корзинок осуществляют через каждые 5 мин без остановки промывочной машины. При вращении барабана заготовки, проходя над жидкостью, высыхают и их вынимают из корзинок чистыми и сухими. Время цикла промывки около 30 мин.

Промывку оптических деталей от нитроэмали, защищающей полированные поверхности, осуществляют в автоматических и полуавтоматических установках. Одна из таких установок показана на рис. 21.10. Установка состоит из камеры загрузки 1, рабочих камер с ультразвуковыми ваннами 2,3,4, душевых ванн 5,6,7 и камеры сушки 8.

Рабочие камеры связаны между собой единым транспортным устройством, состоящим из замкнутых прямолинейных путей.

Транспортирование деталей ведется в кассетах, устанавливаемых в специальные спутники 9. Спутники перемещаются из камеры в камеру с помощью пневмодвигателей 10 и шаговых транспортеров 11. Спутники представляют собой четырехугольную металли-

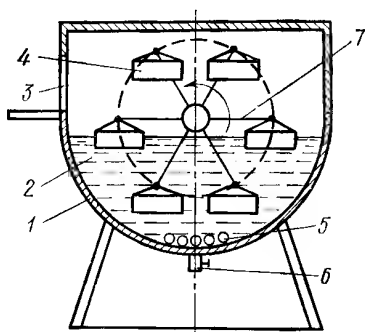


Рис. 21.9. Очистка и промывка заготовок

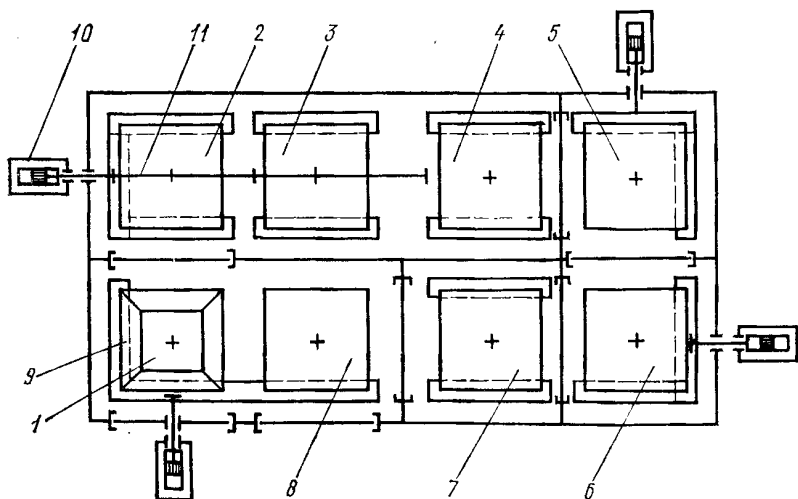


Рис. 21.10. Автоматическая установка для промывки оптических деталей

ческую рамку. Количество спутников на один меньше количества камер в установке. Камеры разделены герметичными заслонками. Герметизация выполнена между камерами, где не допускается смена растворителей, а также между загрузочной и сушильной, и другими камерами, чтобы избежать вредного воздействия паров растворителей. Под рабочими камерами (рис. 21.11) помещены взрыво-

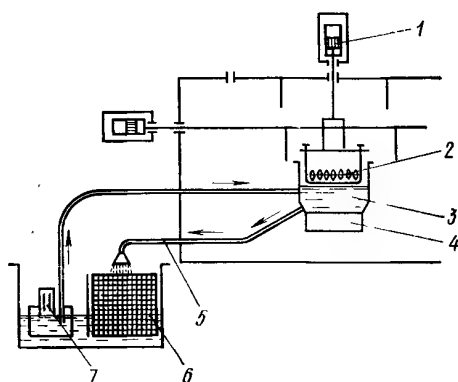


Рис. 21.11. Устройство одной из ванн установки для промывки оптических деталей

безопасные двигатели с центробежными насосами 7, каждый из которых питает рабочие камеры. Кассеты с деталями 2 опускаются с помощью пневмодвигателей 1 в растворитель 3, который после промывки сливается самотеком по трубе 5 в угольный фильтр 6, после чего снова попадает в бак. Вместимость бака 200 л. Смена растворителя один раз в шесть месяцев.

Ультразвуковые ванны работают от магнитострикционных преобразова-

телей 4 типа ПМС мощностью 2,5 кВт, которые питаются от УЗГ-10, находящегося в отдельном помещении. Уровень растворителя в ваннах поддерживается автоматически. Вместимость каждой ванны 16 л.

Вся установка снабжена вентиляционной системой. Логическая схема управления перемещением кассет из камеры в камеру сделана по принципу «разрешения». Спутник, перемещаясь в пустую ячейку, нажимает механический контакт, тем самым давая сигнал передающему шаговому механизму, что ячейка свободна. В свободную ячейку начинает двигаться следующий спутник, который повторяет действие предыдущего. Так происходит передача спутников во всех камерах.

Переналаживаемые кассеты для крепления оптических деталей (рис. 21.12) представляют собой две жесткие планки 1, к которым крепятся держатели 2 и 4, образующие гнезда для деталей. Держатели выполнены из стальных прутков, изогнутых в соответствии с конфигурацией и размерами промываемых деталей. Каждая линза 3 свободно лежит на держателях двух боковых 2 и одном нижнем 4. Чтобы предотвратить выколки на острых краях оптических деталей, стальные прутки покрыты органической эластичной оболочкой.

Расстояние между прутками кассет можно изменять в зависимости от размера детали. Однако для деталей, идущих серийно, выделены постоянные группы кассет.

При конструировании кассет для деталей любой новой конфигу-

рации (сложные призмы, фильтры и т. д.) необходимо такое крепление детали, чтобы в процессе ее промывки промывочная жидкость свободно стекала с рабочей поверхности оптической детали, а не задерживалась бы на ней в виде капель, брызг и т. д., которые, высыхая, оставляют «налет». Установка может работать в автоматическом и полуавтоматическом режимах.

Карусельная автоматическая установка предназначена для промывки оптических деталей, в основном линз, от лака, смолы и других загрязнений. Установка может работать в автоматическом и полуавтоматическом режимах. Все операции, кроме укладки деталей

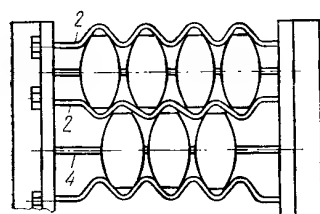
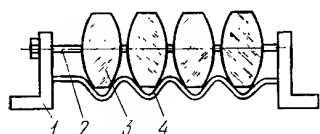


Рис. 21.12. Крепление линзы в кассете

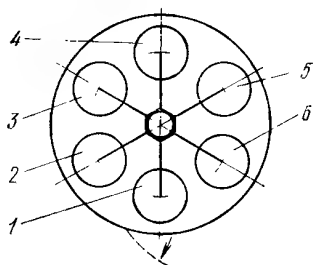
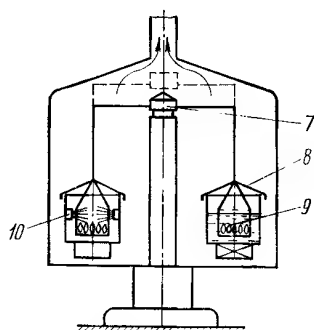


Рис. 21.13. Карусельная промывочная машина

на специальные сетки и снятие их после промывки, автоматизированы. Установка представляет собой шестипозиционный, однопроцессный автомат карусельного типа (рис. 21.13).

Загрузка деталей на подвески происходит при поднятом их положении. Подвески 9 с деталями поднимаются во всех камерах одновременно.

На рис. 21.13 пунктиром показано верхнее положение штанги 7 с подвесками 9.

Подвески с деталями последовательно проходят загрузочную камеру 1, ацетоновую ультразвуковую ванну для черновой промывки 2, ацетоновую ультразвуковую ванну чистовой промывки 3, душ ацетоновый 4, душ спиртовой 5, камеру сушки 6.

Ультразвуковые ванны питаются от генератора УЗГ-10. Ацетон, загрязненный в ваннах, проходит очистку в угольных фильтрах. После двукратной ацетоновой промывки подвеска с оптическими деталями поступает в душевую камеру 10. Перенос из одной камеры в другую производится вместе с крышками 8, предохра-

няющими от разбрызгивания и испарения промывочных жидкостей. Душ представляет собой кольцевую трубку с отверстиями, выполненными под различными углами со всех сторон трубки. Внизу душевой камеры находится сливное отверстие. Время цикла промывки 30—40 мин.

21.4. Поточные линии и их характеристики

Поточной линией для изготовления деталей называют группу оборудования (специализированных рабочих мест), расположенного в соответствии с последовательностью операций технологического процесса изготовления этих деталей. Для поточного производства характерны принципы специализации, прямооточности, непрерывности, параллельности и ритмичности.

Принцип специализации заключается в создании специализированных поточных линий замкнутого цикла, предназначенных для обработки одного закрепленного за данной линией изделия или нескольких технологически родственных изделий. Например, поточные линии для обработки очковой оптики, призм и линз. При закреплении за линией одного изделия ее называют однопредметной. Такие линии характерны для массового производства. При закреплении за линией нескольких изделий ее называют многопредметной. Такие линии используют в серийном и массовом производстве. Обработка различных изделий на таких линиях требует минимальной переналадки оборудования и полного совпадения операций технологического процесса.

Принцип прямооточности предусматривает расположение оборудования и рабочих мест в порядке следования операций технологического процесса таким образом, чтобы обеспечить кратчайший путь движения изделия.

Принцип непрерывности на поточных линиях осуществляется в виде непрерывного движения изделий по операциям при непрерывной (без простоев) работе рабочих и оборудования. Для этого длительности отдельных операций должны быть синхронизированы, т. е. подобраны таким образом, чтобы изделие передавалось на последующую операцию немедленно после завершения предыдущей. Линии, где осуществлен принцип непрерывности, называют непрерывно-поточными. Если же полной непрерывности нет, то линии называют прерывно-поточными или прямооточными.

Принцип параллельности заключается в параллельном движении партий, когда изделия передаются по операциям поштучно или небольшими группами, т. е. в каждый момент времени на линии обрабатывается несколько единиц деталей, находящихся на различных операциях процесса.

Принцип ритмичности поточной линии проявляется в ритмичном выпуске продукции с линии и в ритмичном повторении всех операций на каждом рабочем месте линии.

На непрерывно-поточных линиях с поштучной передачей изделий выпуск (запуск) каждого изделия осуществляется через один и тот же интервал времени, называемый тактом линии r .

При передаче изделий транспортными партиями (пачками) ритмичность работы непрерывно-поточной линии характеризуется интервалом времени, отделяющим выпуск (запуск) одной пачки от последующей, т. е. ритмом линии R . Ритм работы линии поддерживается с помощью конвейеров или световой сигнализации. Это линии с регламентированным ритмом. Поточные линии со свободным ритмом применяют при любых формах потока. Они не имеют технических средств, регламентирующих ритм работы.

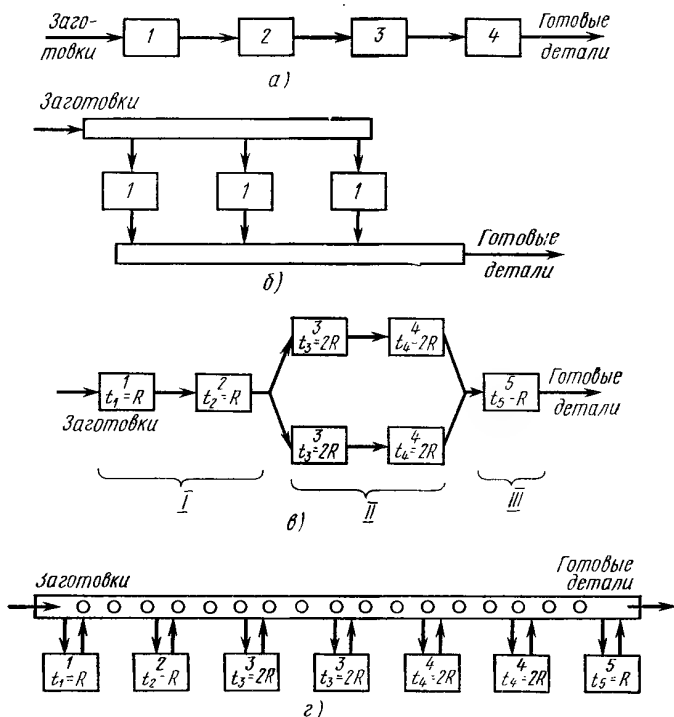


Рис. 21.14. Типы поточных линий

Поточные линии разделяют по степени непрерывности производственного процесса на непрерывные и прерывно-поточные, по степени специализации на одно- и многопредметные. По характеру обработки различают (рис. 21.14) линии с последовательной (а, в), параллельной (б) и параллельно-последовательной обработкой (в).

Обычно применяют линии с последовательной обработкой (или однопоточные), где каждая заготовка обрабатывается последовательно на всех станках линии. Такие линии применяют там, где длительность обработки на отдельных типах станков одинакова и равна такту, т. е. $t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_n = R$.

При параллельной обработке каждая заготовка обрабатывается на одном из однотипных станков. Станки снабжаются из общего конвейера, а обработанные детали собираются вместе и следуют дальше для контроля или последующей обработки.

При параллельно-последовательном цикле заготовки обрабатываются на станках *I* и *2*, затем поток разделяется между станками *3* и *4*, а затем перед станком *5* поток снова объединяется. Такую компоновку применяют, когда продолжительность выполнения какой-либо операции превышает на 50% и более продолжительность остальных операций. Для обеспечения равенства или кратности всех операций ритму необходимо синхронизировать во времени все операции производственных процессов, проектируемых на поток. Практически полностью это сделать трудно. Проще всего операции синхронизируют простым дублированием операций, время выполнения которых больше, чем у других. Например, если на станках *I* и *2* (см. рис. 21.14, *в*) длительность обработки несколько меньше такта выпуска изделий, то на участке *I* линия будет однопоточной. Если на станках *3* и *4* длительность обработки больше такта в 1,5—1,8 раза, то станки дублируются и линия на участке *II* получается разветвляющейся. Если на станке *5* длительность обработки будет меньше такта, то на участке *III* ветви сходятся и линия опять становится однопоточной. Та же цель может быть достигнута на линиях с последовательной обработкой с помощью дублирования операций на станках *3* и *4* (рис. 21.14, *г*).

Однако чаще всего синхронизацию проводят с помощью некоторых организационно-технических мероприятий: изменения технологии и режимов обработки, освобождения операторов от вспомогательных функций и т. д.

По расположению станков различают линии прямолинейные, Г-, Т-, П- и Ш-образные, круговые и другие в зависимости от характера обработки на линии, планировании участка или цеха, связи поточной линии с общим производством цеха и завода, производственно-экономических соображений.

В поточных линиях обработки оптических деталей заготовки перемещаются на вынесенном транспортере (конвейере), который обычно располагается сбоку станков. Путь заготовок складывается из продольного перемещения от одного станка к другому, а иногда поперечного перемещения с транспортера к рабочей зоне станка и обратно (см. рис. 21.14, *г*).

На практике применяют следующие основные разновидности поточных линий: индивидуальные (однопредметные) — для обработки одной детали; спаренные — для обработки двух идентичных деталей; групповые — для одновременной обработки нескольких деталей (иногда до 10); групповые переменнo-поточные — для изготовления в последовательном порядке нескольких деталей. Поточную линию, включающую виды обработки, называющую комплексной.

Применение поточного производства для серийного и массово-

го выпуска деталей обеспечивает высокую экономическую эффективность, которая складывается из многих производственно-технических факторов. К ним относят повышение производительности труда, увеличение объема выпускаемой продукции, сокращение длительности производственного цикла, уменьшение объема незавершенного производства и т. д.

Для синхронизации по времени всех операций, производимых на поточной линии, широко используют помимо дублирования операций и многостаночное обслуживание. Многостаночное обслуживание — наиболее простой путь также и для повышения производительности труда рабочего на данной операции.

Для возможности применения многостаночного обслуживания необходимо, чтобы основное машинное время T_0 , т. е. время, когда производится непосредственно обработка заготовки на данной операции, было бы значительно больше вспомогательного времени t_v для той же операции. На рис. 21.15 показано многостаночное обслуживание трех станков типа ШП-500.

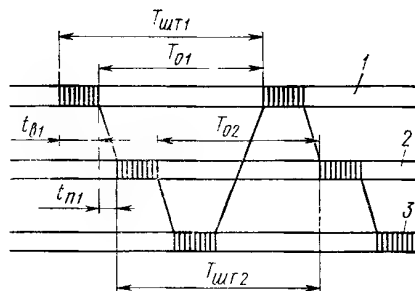


Рис. 21.15. Схема многостаночного обслуживания

Рабочий, подойдя к станку 1, устанавливает на нем заготовку, инструмент, производит поднастройку станка и т. д., включает станок, затратив на все это вспомогательное время t_{v1} . Затем рабочий переходит к станку 2, затратив на это время t_{n1} . У станка 2 рабочий выполняет те же вспомогательные работы, что и у первого станка, а затем переходит к третьему станку.

Вернувшись после станка 3 обратно к первому, рабочий выключает станок, снимает обработанную деталь, проверяет ее и повторяет весь цикл обслуживания всех трех станков.

При многостаночном обслуживании основное время T_0 перекрывается вспомогательным временем и временем перехода от станка к станку. Чем меньше будет t_v и t_n , тем больше станков рабочий сможет одновременно обслужить.

Поточные линии в производстве оптических деталей применяют для любого типа производства от серийного до массового. Однако в зависимости от серийности выпуска поточные линии состояются из различных групп станков и оборудования. Для мелкосерийного и серийного производства с большей номенклатурой выпускаемых деталей поточную линию составляют из универсальных станков, которые можно легко и быстро перенастраивать на другой типоразмер выпускаемых деталей. Для крупносерийного и массового производства поточные линии обычно составляют из спе-

циальных или специализированных станков. Расположение станков и агрегатов в поточных линиях в бóльшей степени зависит от серийности производства, производительности обрабатывающих станков и других технико-экономических причин.

Контрольные вопросы

1. Чем автомат отличается от полуавтомата?
2. Что такое автоматическая и поточная линии?
3. Расскажите об обработке грани столбиков призм на автомате.
4. Как устроен автомат для промывки линз?
5. Что такое поточная линия?
6. Перечислите основные типы поточных линий.

VI. ЛИТЕРАТУРА

Ардамацкий А. Л. Алмазная обработка оптических деталей. — Л.: Машиностроение, 1978.

Журавлев А. Н. Допуски и технические измерения. — М.: Высшая школа, 1978.

Смирнов В. А. Обработка оптического стекла. — Л.: Машиностроение, 1980.

Справочник контролера машиностроительного завода. — М.: Машиностроение, 1980.

Сулим А. В. Производство оптических деталей. — М.: Высшая школа, 1975.
Технология обработки оптических деталей/Под ред. М. Н. Семибратова. — М.: Машиностроение, 1975.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Введение	3
II. Оптические детали и материалы	4
1. Сведения об оптическом производстве	4
1.1. Оптические детали	4
1.2. Оптические материалы	10
1.3. Организация труда в цехе	12
1.4. Безопасность труда и производственная санитария	13
2. Производство оптических материалов	14
2.1. Свойства оптического стекла	14
2.2. Классификация и номенклатура оптического стекла	16
2.3. Сырьевые материалы стекловарения	18
2.4. Варка оптического стекла	21
2.5. Разделка оптического стекла	25
2.6. Выращивание оптических кристаллов	27
3. Обработывающие и другие материалы оптического производства	32
3.1. Абразивные материалы	32
3.2. Вспомогательные материалы	38
3.3. Оптические клеи	44
3.4. Материалы покрытий и технологической оснастки вакуумных установок	47
III. Качество оптических деталей и материалов	52
4. Требования к оптическим деталям	52
4.1. Требования к стеклу	52
4.2. Требования к оптическим деталям	55
4.3. Чертеж оптической детали	60
5. Сведения из метрологии	63
5.1. Понятия об измерениях	63
5.2. Точность и погрешности измерений	65
6. Контроль качества оптического стекла	68
6.1. Отклонение показателя преломления и средней дисперсии	68
6.2. Оптическая однородность	74
6.3. Показатель ослабления	76
6.4. Двойное лучепреломление	76
6.5. Бессвильность	78
6.6. Пузырность	79
7. Контроль качества обработки оптических деталей	79
7.1. Измерение линейных размеров оптических деталей	80
7.2. Измерение угловых размеров	84
7.3. Контроль формы и размеров поверхностей	87
IV. Операции изготовления оптических деталей	94
8. Типы производства и технологический процесс	94
8.1. Типы производства	94
8.2. Технологический процесс и его разработка	95
8.3. Базирование при обработке оптических деталей	97
9. Сущность процессов обработки оптических деталей	99
9.1. Шлифование свободным абразивом	99
9.2. Шлифование закрепленные абразивом	100
9.3. Полирование	101
9.4. Электрофизические методы обработки	102
9.5. Припуски	104
10. Инструменты для обработки оптических деталей	106
10.1. Алмазный инструмент	107
10.2. Инструмент для шлифования свободным абразивом	113

10.3. Инструмент для полирования	116
11. Вспомогательные операции	118
11.1. Крепление заготовок наклеиванием	118
11.2. Другие виды крепления	124
11.3. Лакирование и промывка деталей	127
12. Заготовительные операции	128
12.1. Разделительные операции	128
12.2. Формоизменяющие операции	130
13. Шлифовально-полировальные станки	139
13.1. Устройство станков	139
13.2. Приспособления для подачи суспензии	143
13.3. Настройка станков	144
14. Операции шлифования и полирования оптических поверхностей	146
14.1. Среднее и мелкое шлифование	146
14.2. Полирование	148
15. Покрытия оптических деталей	151
15.1. Виды покрытий	151
15.2. Способы нанесения покрытий	154
V. Технологические процессы изготовления оптических деталей	164
16. Изготовление типовых оптических деталей	164
16.1. Изготовление пластин	164
16.2. Изготовление линз	171
16.3. Изготовление призм	179
17. Соединение оптических деталей	183
17.1. Склеивание	183
17.2. Контроль склеенных деталей	187
17.3. Оптический и глубокий оптический контакты	189
17.4. Спекание и сварка	191
18. Изготовление оптических деталей из кристаллов	193
18.1. Призмы из кристаллов кварца	193
18.2. Поляризационные призмы Глана-Томпсона	194
18.3. Призмы и линзы из кристаллов каменной соли	195
18.4. Рубиновые стержни лазеров	196
18.5. Пластины из германия и кремния	197
19. Обработка асферических поверхностей	198
19.1. Способы формообразования	198
19.2. Контроль асферических поверхностей	202
19.3. Изготовление астрономической оптики	204
20. Изготовление специальных оптических деталей	207
20.1. Пробные стекла	207
20.2. Фронтальные линзы объективов микроскопов	209
20.3. Сетки и шкалы	211
20.4. Очковая оптика	216
20.5. Ампулы уровней	219
20.6. Интерференционные фильтры и зеркала резонаторов лазеров	220
20.7. Детали волоконной оптики	233
20.8. Оптические детали из полимеров	236
21. Механизация и автоматизация производства оптических деталей	237
21.1. Основные понятия и определения	237
21.2. Автоматизация заготовительных операций	239
21.3. Автоматизация вспомогательных операций	243
21.4. Поточные линии и их характеристики	248
VI. Литература	253

**Алексей Алексеевич Ефремов
Юрий Васильевич Сальников**

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ
ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ**

Научный редактор Б. З. Быков. Редактор Г. В. Садыков. Художественный редактор В. П. Спирина. Технический редактор Е. И. Герасимова. Корректор В. В. Кожуткина
ИБ № 4096

Изд. № М-192. Сдано в набор 29.12.82. Подп. в печать 15.11.83. Т-22016. Формат 60×90¹/₁₆.
Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 16 усл. печ. л.
16,25 усл. кр.-отт. 17,72 уч.-изд. л. Тираж 12 000 экз. Зак. № 2421. Цена 60 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14

Великолукская городская типография управления издательств,
полиграфии и книжной торговли Псковского облисполкома,
г. Великие Луки, ул. Полиграфистов, 78/12 -